



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA**  
**BARCELONATECH**

# **RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE LOS DRONES EN EL MUNDO DE LA ARQUITECTURA**

**Manuel Alejandro Charfen Garcia**

Universidad Politécnica de Catalunya  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona  
Barcelona, España.

2015

# **RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE LOS DRONES EN EL MUNDO DE LA ARQUITECTURA**

**Manuel Alejandro Charfen Garcia**

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de:

**Master en Tecnología en Arquitectura**

Director del TFM:

DR. ARQ. Joan Lluís Zamora Mestre

Director del Master:

DR ARQ. Jaume Avellaneda Diaz-Grande

Universidad Politécnica de Catalunya

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona

Barcelona, España.

2015

## **Agradecimientos**

A mis padres, por hacer todo lo que estaba a su alcance para que yo pudiera estar cursando este Master y poder elevar mi grado de educación. A mis compañeros del master, por brindarme el apoyo que me dieron cuando se necesitaba el tiempo que cursamos juntos en esta etapa, y por enseñarme a no solo trabajar en equipo, si no a apreciar el ambiente de trabajo en el cual convivimos.

## Resumen

*El desarrollo del tema trata de explicar y analizar los diversos usos y aplicaciones actuales y posibles futuras de los drones o RPAS en la edificación. El documento también habla de las ventajas y las desventajas con las que cuentan, los diferentes tipos de drones que existen, sus capacidades máximas y tomando en cuenta las limitaciones que pueden llegar a tener estos en la edificación.*

*Se explicara la situación actual que tiene un dron en la edificación, estudiando las aplicaciones ya existentes y se intentara encontrar posibles futuras aplicaciones funcionales de los drones en el ámbito arquitectónico.*

**Palabras clave:** Drones, Arquitectura, Modelos, Aplicaciones, Edificación, Construcción.



# Abstract

The development of the subject is the explanation and analysis of the various current uses and possible future applications of drones or RPAS in the building field. The document also talks of the advantages and disadvantages that count, the different types of drones that exist, their maximum capacities and limitations that can have in the building area.

The current situation has a drone in the building to explain, studying existing applications and trying to find possible future functional applications of drones in the architectural field.

**Keywords:** Drones, Architecture, Models, Application, Building, Construction.

# RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE LOS DRONES EN EL MUNDO DE LA ARQUITECTURA

## Indice

<b>1.</b>	<b>Intro</b>	<b>9</b>
<b>2.</b>	<b>Objetivos</b>	
2.1	Conocer el potencial que tienen los drones en la edificación	
2.2	Conocer las limitantes que tiene un drone (peso, alcance, autonomía)	
2.3	Detectar las aplicaciones de los drones en la edificación y en la construcción	
2.4	Encontrar nuevas aplicaciones para los drones en la construcción	10
<b>3.</b>	<b>Estado del Conocimiento</b>	
3.1	¿Qué es un dron?	11
3.2	Historia	12
3.3	Clasificación de drones	13
3.3.1	Categorías por motor	14
3.3.2	Categorías por peso	15
3.3.3	Ventajas de motorrotor y ala Fija	16
3.4	Funciones de un drone en un proyecto arquitectónico	17
3.4.1	Pre Proyecto	17
3.4.2	Fase de Planificación	17
3.4.3	Fase de Ejecución	18
3.4.4	Post Proyecto o Fase de Venta	19
3.5	Conclusión del estado del conocimiento	19
<b>4.</b>	<b>Estado del Arte Científico</b>	
4.1	Consultas científicas	20
4.2	Consultas comerciales	22
<b>5.</b>	<b>Metodología</b>	
5.1	Asistencia a demostraciones	
5.1.1	GeolInformáticos, Sabadell, Barcelona.	23
5.2	Entrevistas con expertos	28
5.2.1	Architectual Air Solutions	29

<b>6.</b>	<b>Estado del Arte de las Aplicaciones de los Drones en Arquitectura</b>	
6.1	Cartografía	30
6.1.1	Obtención de datos	31
6.1.2	Interpretación de datos	31
6.1.3	Resultados finales	32
6.1.4	Conclusión	33
6.2	Topografía	34
6.2.1	Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y Modelo Digital del Terreno (MDT)	35
6.2.2	Mapa Topográfico	36
6.3	Mantenimiento de líneas eléctricas	37
6.3.1	Usos Potenciales	38
6.3.2	Inspección a tiempo real	39
6.4	Inspecciones termográficas	40
6.5	Aplicaciones Urbanísticas	42
6.6	Otras Aplicaciones	45
6.6.1	Fotogrametría	45
6.6.2	Control de Infraestructuras	45
6.6.3	Energías Renovables	46
6.7	Conclusiones del Estado del Arte	47
<b>7.</b>	<b>Estado del Arte en Arquitectura y Construcción</b>	
7.1	Análisis del proceso constructivo	48
7.2	Creación de modelos tridimensionales	51
7.2.1	Flight Assembled Architecture	51
7.3	Construcción Aérea	57
7.3.1	Building with flying robots	58
<b>8.</b>	<b>Recomendaciones</b>	62
<b>9.</b>	<b>Conclusiones</b>	64
9.1	Ventajas	64
9.2	Desventajas	65

## **10. Referencias**

10.1	Referencias Científicas	66
10.2	Referencias Comerciales	67

# 1. Intro

Volar es un sueño humano, impulsado por el desarrollo de la potencia del motor. La aspiración a alcanzar vuelos tripulados y el deseo de obtener el control sobre el espacio aéreo fueron alcanzados en un solo siglo. El vuelo se convirtió en una comodidad, permitiendo transportar personas y bienes a todo lo largo del planeta. En la fabricación de arquitectura, el uso de máquinas voladoras se aplican en la construcción desde la década de 1950. Desde esta época, los helicópteros son utilizados para levantar materiales pesados de construcción y para transportarlos a lugares remotos sin acceso a la calle.

Hoy en día, los avances en la tecnología digital están cambiando el futuro del vuelo, en una manera profundamente relevante para la arquitectura. Robots voladores están a punto de conquistar el cielo. Los robots no solo exhiben su potencial de movimiento dinámico, sino también abren el espacio aéreo a la arquitectura permitiendo realizar intervenciones materiales.

La implementación de maquinas voladoras hizo ver que todo el espacio aéreo puede ser accesible. Como ejemplifican los drones (generalmente utilizados para fines militares) hoy se puede operar sin la ayuda de un piloto a bordo. Los llamados vehículos aéreos no tripulados (UAV) vuelan por el control de sensores y algoritmos. Para ubicarse en el espacio aéreo, los drones se manejan con sistemas de referencia geoespacial. Por primera vez en la historia, el espacio aéreo está disponible en una resolución tan alta, que se hace tangible a la arquitectura.

Creados para un entorno militar, los RPAS ó drones están adentrando al mercado del consumo, cada día surgen mas modelos comerciales y se plantea la posibilidad de regular su uso como herramientas destinadas a los servicios ya sea para realizar practicas de rescate, análisis de la situación o incluso métodos de transporte de pequeñas mercancías.

En la actualidad, los drones ó RPAS llevan un papel muy relevante en la arquitectura y están a punto de convertirse en una herramienta mas para el proceso creativo y constructivo en la edificación, gracias a las infinitas aplicaciones que existen para este en el ámbito arquitectónico.

A continuación daremos desarrollo al tema de recomendaciones en la aplicaciones de drones en la arquitectura, dando sustento en algunos artículos científicos, comerciales, entrevistas a expertos, asistencia a demostraciones, entre otros.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Conocer el potencial que tienen los drones en la edificación.**

Se hablará de las aplicaciones que tienen los drones en la edificación actualmente, que hacen los drones hoy en día, en que están trabajando y quienes lo solicitan.

### **2.2 Conocer las limitantes que tiene un drone (peso, alcance, autonomía)**

Conocer hasta donde puede llegar la interacción de un dron en la edificación. Limitantes de peso, el alcanza del área de trabajo, y lo las importante la autonomía que tienen las los diferentes tipos de drones.

### **2.3 Detectar las aplicaciones de los drones en la edificación y en la construcción.**

Encontrar todos los posibles usos de los drones, enfocadas en el ámbito arquitectónico, de ingeniería y de construcción. Todo lo que pueden llegar a hacer por el arquitecto.

### **2.4 Encontrar nuevas aplicaciones para los drones en la construcción.**

Llegar a encontrar las diferentes posibilidades de interactuar que tiene un drone sobre la edificación. Hoy en día existen diversidad de aplicaciones y usos para drones, ya que esta tecnología va avanzado muy rápidamente.

### 3. Estado del Conocimiento

#### 3.1 ¿Que es un Drone?

Hay una cierta confusión acerca de la forma de referirse a los Drones. A continuación se nombraran las diferentes definiciones y sus diferencias:

##### Drone, Drones

Históricamente los RPAS se han llamado “drones”, palabra inglesa que significa textualmente “zángano” (el macho de la abeja). Hay varias teorías acerca del origen de este nombre pero todas ellas coinciden en su origen militar. Indudablemente es el nombre más utilizado popularmente y es casi el único que se encuentra en la prensa generalista. En Español presenta el problema de su forma correcta en singular. En Inglés, el singular de “drones” es “drone”, si bien en Español generalmente se utiliza la forma “dron”.

##### UAV y UAS

Significan respectivamente “Unmanned Aerial Vehicle” y “Unmanned Aerial System”. La primera se refiere exclusivamente a la plataforma de vuelo, mientras que la segunda al sistema completo, es decir, incluyendo no sólo el segmento aéreo sino también el enlace de comunicaciones y la estación de tierra. Por lo tanto ambas apelaciones son correctas dependiendo de si nos referimos a una parte o al conjunto del sistema.

El término “unmanned” puede traducirse como “no tripulado”, por lo que un UAV (o UAS) es cualquier aeronave (o sistema) en que el piloto no esté físicamente a bordo.

##### RPA y RPAS

Al igual que en caso anterior, RPA o “Remotely Piloted Aircraft” se refiere a la plataforma de vuelo, mientras que RPAS, “Remotely Piloted Aircraft System” se refiere al sistema. La principal diferencia con el caso anterior es que, en el caso del RPA o RPAS, se hace mención expresa a la existencia de un piloto que opera la aeronave de forma remota, es decir utilizando un enlace de comunicaciones entre la estación de tierra y la aeronave, mientras que en el caso anterior no se especifica claramente la existencia de un piloto, sólo que, caso de haberlo, no está a bordo.

En resumidas cuentas, drone es un término popular, en desuso para el personal especializado en la tecnología que prefiere utilizar apelativos más específicos. Dentro de éstos, se distingue entre la plataforma de vuelo (aeronave) y el sistema completo.

Asimismo se distingue el caso en que hay un piloto remoto (RPA, RPAS) de los casos en los que no lo hay, es decir en los que el vuelo, o alguna de sus partes, se produce de forma totalmente automática sin supervisión humana. Por tanto, todos los RPAS son UAS, pero no todos los UAS son RPAS.



**Figura 1.** Drone Hexacopter (6 Helices).

### 3.2 Historia

La aviación no tripulada tuvo sus comienzos en los modelos contruidos y volados por inventores como Cayley, Stringfellow, Du Temple y otros pioneros de la aviación, que fueron previos a sus propios intentos de desarrollar aeronaves tripuladas a lo largo de la primera mitad del siglo XIX. Estos modelos sirvieron como bancos de pruebas tecnológicos para el desarrollo posterior de modelos de mayor tamaño con piloto a bordo y, en este sentido, fueron los precursores de la aviación tripulada.

La genealogía de las aeronaves no tripuladas esconde sus raíces en el desarrollo de los llamados «torpedos aéreos», antecesores de los actuales misiles crucero, que posteriormente se desarrollaron a través de las ramas de las bombas guiadas (no propulsadas), los blancos aéreos (llamados drones), los señuelos, los modelos recreacionales y deportivos de radio-control, las aeronaves de investigación, las aeronaves de reconocimiento, las de combate, e incluso algunos modelos más extraños de vuelo extra-atmosférico.

El término vehículo aéreo no tripulado (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) se hizo común en los años 90 para describir a las aeronaves robóticas y reemplazó el término vehículo aéreo pilotado remotamente (Remotely Piloted Vehicle, RPY), el cual fue utilizado durante la guerra de Vietnam y con posterioridad. el documento «Joint Publication 1-02, Department of Defense Dictionary» editado por el Ministerio de Defensa de los Estados unidos define UAV como:

*«Un vehículo aéreo motorizado que no lleva a bordo a un operador humano, utiliza las fuerzas aerodinámicas para generar la sustentación, puede volar autónomamente o ser tripulado de forma remota, que puede ser fungible o recuperable, y que puede transportar una carga de pago letal o no. No se consideran UAV a los misiles balísticos o semibalísticos, misiles crucero y proyectiles de artillería».*

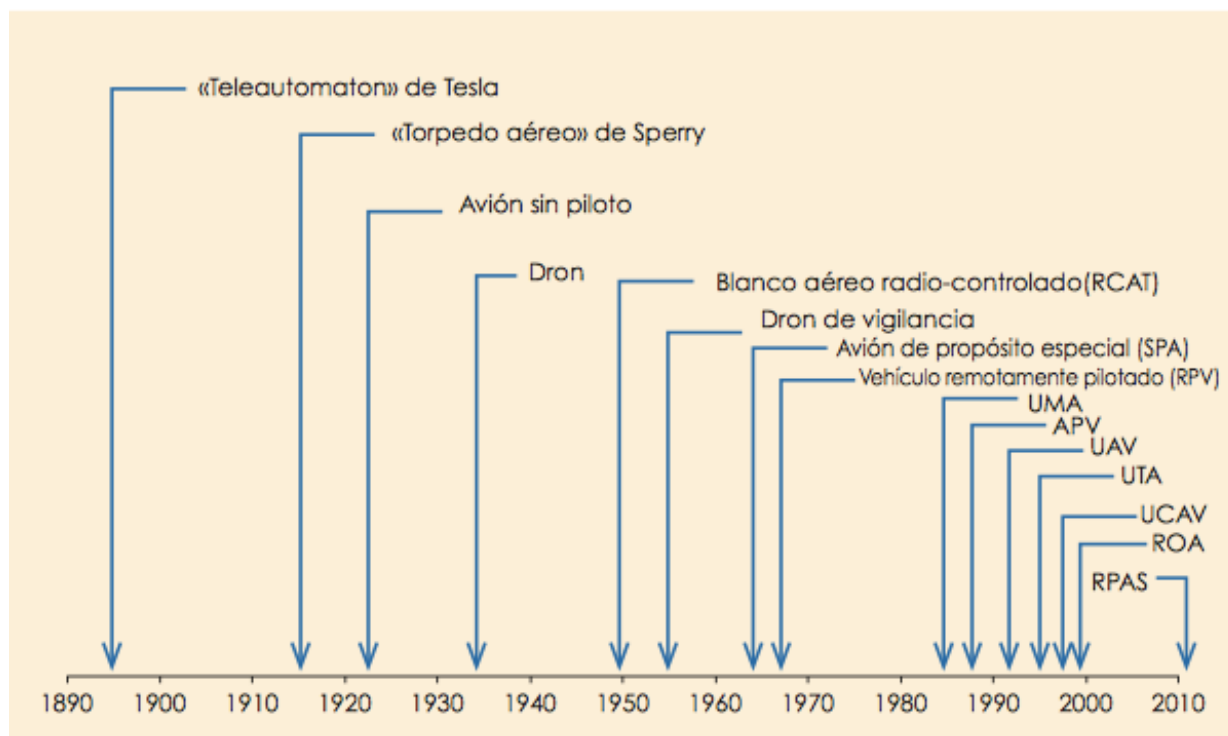
Además de los misiles citados y los proyectiles de artillería, la definición también excluye a los planeadores (que no llevan planta propulsora), a los globos y dirigibles (los cuales no utilizan la generación de sustentación mediante fuerzas aerodinámicas sino mediante fuerzas de flotabilidad) y a los objetos arrojados (que carecen de control remoto u autónomo). Los términos UAV y RPV no son más que dos entre cerca de la docena de



nombres que han ido recibiendo las aeronaves robóticas no tripuladas a lo largo de su existencia.

En el año 2011 la organización de Aviación civil Internacional, organismo especializado de naciones unidas para la aviación civil y del cual España forma parte al haber suscrito el Convenio de Chicago de 1944, publicó su Circular 328 en la cual por vez primera reconoce a las aeronaves no tripuladas como aeronaves, con todo lo que ello trae consigo, y de entre todas las posibles tipologías escoge a las que se pilotan de manera remota para ser consideradas como aptas para la aviación civil, y no otros tipos (como podrían ser las autónomas). Así se han acuñado los términos que a continuación se detallan, y que tienen hoy en día una validez y aplicación internacional y casi única en todos los ámbitos. estos términos son:

- Aeronave pilotada remotamente (Remotely-Piloted Aircraft, RPA): una aeronave en la que el piloto al mando no está a bordo;
- Sistema de aeronave pilotada remotamente (Remotely-Piloted Aircraft System, RPAS): un conjunto de elementos configurables formado por un RPA, su estación de pilotaje remoto asociada (RPS – Remote Pilot Station), el sistema requerido de enlace de mando y control y cualquier otro elemento requerido en cualquier punto durante la operación del vuelo.



**Figura 2.** Cronología de los nombres aplicados a las aeronaves robóticas.\*\*

\*\* El resto de los acrónimos no definidos se corresponden con: UMA = Unmanned Aircraft; APY = Automatically Piloted Vehicle; UTA = Unmanned Tactical Aircraft; UCAV = Unmanned Combat Air Vehicle; ROA = Remotely Operated Aircraft.

### 3.3 Clasificación de Drones o RPAS

Los Drones, dependiendo su misión principal, suelen ser clasificados en seis tipos:

- Blanco: sirven para simular aviones o ataques enemigos en los sistemas de defensa de tierra o aire
- Reconocimiento: enviando información militar. Entre estos destacan los MUAV (*Micro Unmanned Aerial Vehicle*) tipo avión o helicóptero.
- Combate (UCAV): para combatir y llevar a cabo misiones que suelen ser muy peligrosas
- Logística: diseñados para llevar carga
- Investigación y desarrollo: en ellos se prueban e investigan los sistemas en desarrollo
- **Comerciales y civiles:** son diseñados para propósitos civiles, filmar, entretenimiento y algunas aplicaciones cotidianas.

#### 3.3.1. Categorías por motor

Dentro de los drones comerciales y civiles, que son los que podrían ser implementados en tareas de construcción y edificación, existen dos tipos de diferentes categorías:

1 Con multirrotor: Suelen ser cuadricópteros (4 rotores con hélices) aunque los hay que tienen 6 (hexacópteros) o incluso 8 hélices. Dos hélices giran en el sentido de las agujas del reloj y las otras dos en el otro sentido, creando así la fuerza de empuje necesario para llevar al dron hacia arriba. Se pueden mantener en el mismo sitio sin variar la posición, gracias a sus giroscopios y estabilizadores.

2 Con ala fija: Tienen alas fijas y son similares a un avión.



**Figura 3.** Drone Phantom (Multirrotor)



**Figura 4.** Drone AF1-LRS (Ala Fija)

### 3.3.2. Categorías por peso

La segunda diferenciación sería la del peso que se dividirían en:



Drones de menos de 2kg, son muy ligeros, muy ágiles pero con el viento se mueven bastante.

*menos de 2 kg.*



Categoría entre 2 - 2.5kg que esta es la categoría donde se moverían dentro del ámbito arquitectónico.

*de 2 a 25 kg.*



Otra categoría ya mucho más grande, más profesional de 25 kg reservado mas para militar, bomberos, etc... drones que van con motores de gasolina, con autonomía de 1 a 2 horas aproximadamente.

*más de 25 kg.*

### 3.3.3. Ventajas de multirrotores y ala fija

Las principales ventajas de los multirrotores son las siguientes:

- Despegue y aterrizaje vertical, lo que reduce las necesidades del espacio requerido en tierra para su operación.
- La posibilidad de volar a punto fijo (vuelo estacionario) o a muy baja velocidad, lo que resulta muy adecuado para aplicaciones de inspección, la segunda actividad en importancia.
- Mayor maniobrabilidad y precisión de vuelo. Mientras que los sistemas de ala fija siguen trayectorias curvilíneas, con unos radios de giro relativamente grandes y con velocidades de ascenso y descenso bastante estrictas, los multirrotores pueden volar prácticamente siguiendo cualquier trayectoria deseada en las tres dimensiones. Esto les permite tomar unos planos de gran dramatismo, acercándose mucho más al objetivo si es necesario y, se pueden conseguir unas imágenes que hasta ahora no eran posibles.
- Su diseño les permite embarcar cargas de pago más voluminosas, en relación con su propio tamaño, que los aviones.

Las principales ventajas de los ala fija son las siguientes:

- Son mucho más eficientes que los multirrotores lo que les permite, a igualdad de tamaño, una mayor autonomía.
- Pueden volar a mayor velocidad, lo que combinado con lo anterior significa que pueden cubrir una distancia o un área mucho mayor, lo que les hace más indicados en actividades de cartografía o teledetección.
- Tienen una huella sonora sensiblemente menor, por lo que resultan más indicados para operaciones de vigilancia.
- Tienen un mayor rango climático en términos de temperatura, viento y lluvia.

Todos tiene sus ventajas y desventajas, los de hélices son muy sencillos de manejar ya que tienen un *position hold*, que hace que el drone se quede quieto, pero una desventaja sería su autonomía que es mínima, tiene una autonomía de 10 minutos de vuelo, y un costo aproximado de 1, 500 €.

En cambio los de ala fija tienen una autonomía de 30 a 45 minutos, vuelan a 70km/h, pero son muchos mas complicados de manejar y de llevar. Por ejemplo en España la ley no puedes alejarte mas de 500 metros desde donde estas piloteando el Drone o RPAS. Estos drones profesionales, ya con los aditamentos necesarios para realizar un vuelo de documentación, tienen un costo aproximado de 30,000 €.

### 3.4 Funciones de un drone en un proyecto arquitectónico actualmente

Según el despacho de topografía GeoInformáticos, las funciones principales que podría realizar un drone dentro de un proyecto arquitectónico se dividirían en 4 fases:

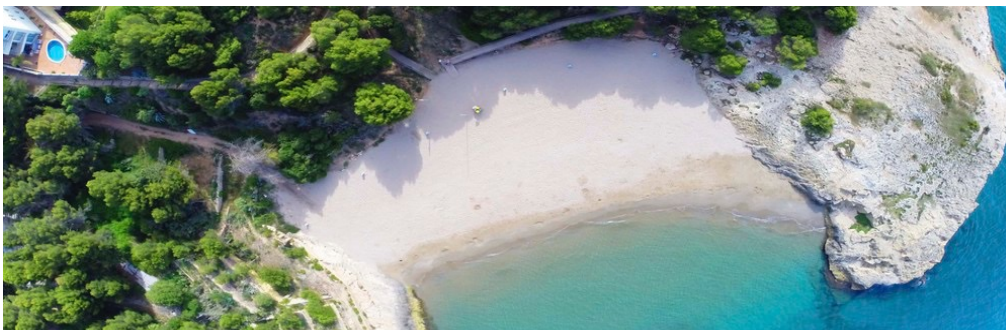
- 1 Pre Proyecto o Fase de adquisición
- 2 Fase de Planificación
- 3 Fase de Ejecución
- 4 Post Proyecto o Fase de Venta

A continuación se describe la función de un drone en cada una de estas fases, y las ventajas que brinda dentro del proyecto.

#### 3.4.1. Pre Proyecto

En esta fase el interés es mostrar que todos los futuros proyectos se integraran perfectamente en el ambiente, que no molestaran a las edificaciones vecinas, con el drone se pueden hacer imágenes áreas para el análisis y el estudio antes de empezar a diseñar.

Un vuelo a una altura de 50m con una cámara de alta resolución (24 mega pixeles), creando una ortofoto georeferenciada, alcanza a tener una resolución de 1,5 cm por pixel, es decir, una piedra de 3 cm puede reconocerse perfectamente en el suelo.



**Figura 5.** Toma aérea de un terreno a intervenir tomada desde un drone. (Fuente: AirDrone3D)

#### 3.4.2. Fase Planificación

Este seria la etapa del proyecto donde normalmente el arquitecto llamaría al despacho de topografía para encargar un levantamiento topográfico del lugar. A partir de ahora tienen como opción encargar una ortofoto, en vez de hacer un levantamiento estándar, se opta por la opción del uso de un drone por la facilidad y accesibilidad que brinda, y el ahorro económico.

Los drones proporcionan imágenes aéreas con las que se pueden realizar actividades cartográficas de forma precisa, servir como reemplazo para las herramientas de medición en 3D y sustituir las herramientas de detección.



A través de los instrumentos topográficos tradicionales y los de nueva generación se recoge la información geoespacial de los elementos a estudiar. A partir de un recorrido aéreo, se representa el terreno transformándolo en un modelo 3D. Una vez escalado se extraen sus cotas para poder representar las líneas de nivel obteniendo un preciso mapa topográfico de la zona estudiada sobre una ortofoto.

Uno de los beneficios del uso de los drones en esta etapa es el ahorro de tiempo que brindan y el ahorro económico que aportan.



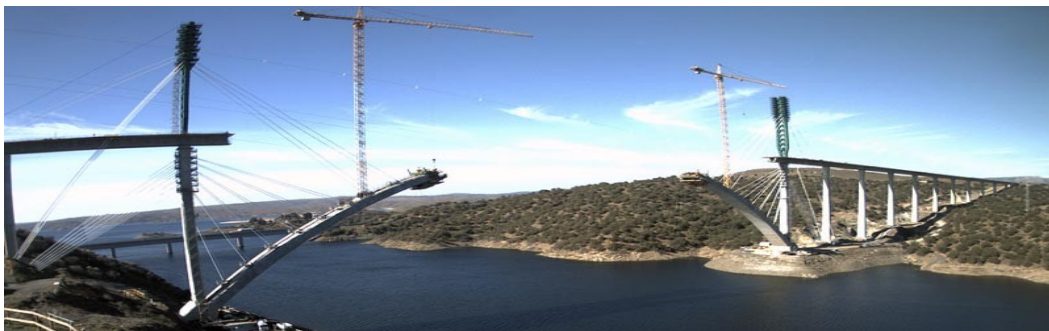
**Figura 6.** Toma aérea de un terreno a intervenir (Fuente: AirDrone3D).

### 3.4.3 Fase de Ejecución

En la fase de ejecución de una obra lo que es interesante, sobre todo si la obra es de gran magnitud, es la documentación de la evolución de la obra, una de las ventajas que brinda el uso de los drones es que el movimiento de tierras se puede documentar y calcular gracias a la nube de puntos creadas por las fotos georeferenciadas.

La ejecución de cualquier obra es un proceso que requiere de un seguimiento continuo que permita la supervisión de la ejecución, del impacto visual, medioambiental y sobre todo el control económico de la obra.

El desarrollo de cada una de las etapas de construcción requiere de mediciones para evaluar estados, diseñar soluciones y certificar procesos de ejecución y de estados finales.



**Figura 7.** Toma aérea desde un dron del proceso de construcción de un puente. (Fuente: AirDrone3D)

### 3.4.4 Post Proyecto o Fase de venta

Esta fase es muy similar a la primera fase (pre-proyecto), básicamente son imágenes y filmaciones aéreas para poder mostrar el resultado del proyecto y así poder crear un video de promocional para tener una mejor publicidad hora de vender el producto final.

Es una nueva forma de presentar las instalaciones y servicios ofrecidos, gracias a la tecnología en captación de imágenes es posible desplazarse libremente en un espacio virtual aéreo.

Las ventajas que brinda un drone en esta fase de documentación son elementales, ya que puede acceder a lugares que un personal no podría, Los ángulos y perspectivas que brinda la fotografía aérea a base de drones es única y atractiva, facilitando así su proceso de venta.



**Figura 8.** Toma aérea del resultado final de un proyecto tomada desde un drone.(Fuente: AirDrone3D)

## 3.5 Conclusión del Estado del Conocimiento

En este apartado del estado del conocimiento, nos informamos de todo lo que se puede saber de los drones o RPAS, desde su clasificación hasta su desempeño actual durante el proceso de un proyecto arquitectónico.

Podemos ver que hay drones diferentes para cada tarea específica, para una documentación de vuelo usar un drone ligero es suficiente, pero en la producción de planos urbanísticos o topografía es necesario un drone de mayor autonomía, consecuente, mas grande y mas pesado.

Podemos concluir en que algo de una de las características mas importantes acerca de los drones es su autonomía, también podemos observar que ya están siendo empleados durante proceso de construcción hoy en día, y nos hace ver que esto es solo el principio de la interacción de los drones dentro de las ramas de arquitectura, ingeniería y construcción.

## 4. Estado Científico del Arte

En este apartado se explican los artículos científicos con los cuales se llegó a las conclusiones del tema y también se mencionan algunas de las referencias más importantes para el desarrollo de este TFM. El apartado de estado científico del arte se divide en: consultas científicas, consultas comerciales.

### 4.1 Consultas Científicas

En este apartado se nombran los libros, artículos y referencias científicas a los que se recurrió para llegar a las conclusiones de los capítulos siguientes.

La realización de este TFM está sustentado en varios artículos científicos referentes a la construcción aérea y el uso de los drones en el ámbito arquitectónico. Como lo son: *Flight Assembled Architecture*, *Building with Flying Machines*, *Robotic Fabrication in Architecture Art and Design*, *Serial Robotic Construction Towards a New Field of Architectural Research*, entre otros.

Enseguida se describe un poco de que tratan estas publicaciones anteriores para entender como se llegó a las conclusiones de este TFM.

#### **Flight Assembled Architecture**

El libro de *Flight Assembled Architecture* es un catálogo en profundidad del proyecto de exposición del mismo nombre que fue desarrollado por Gramazio & Kohler y Raffaello D'Andrea y fue mostrado en el Fonds Régional D'Art Contemporain (FRAC) Centro en Orléans, Francia. Presenta una exploración de las posiciones de los autores y sus investigaciones sobre arquitectura, diseño de sistemas y tecnologías robóticas autónomas. El libro revela una visión detallada de la realización de la exposición y la contextualización historia del proyecto.

#### **Building with Flying Robots**

La investigación que presentan Gramazio & Kohler Research investiga el potencial del diseño y la relación material entre la arquitectura y la construcción utilizando máquinas voladoras. El artículo identifica la escalabilidad, la autonomía territorial y cooperativismo como principales características de la utilización de robots voladores en la producción arquitectónica.

#### **Aerial Robotic Construction Towards a New Field Of Architectural Research**

En este libro caracteriza una novela de campo en la investigación arquitectónica, - *Aereal Robotic Construction* - donde la robótica se utiliza no solo para la construcción, sino como un principio en el proceso de diseño y fabricación. Con vehículos voladores autónomos



que levantan pequeños elementos de construcción, ARC ofrece un nuevo enfoque integral de la investigación y tecnología en la arquitectura. Ofrece también las ventajas únicas sobre los enfoques tradicionales del edificio: no requiere andamios, fácil mente escalable, cambia totalmente el proceso de construcción.

## Gramazio & Kohler Research

Cabe mencionar que una de las fuentes mas recurridas de este TFM fue a la firma de investigación Gramazio & Koehler Research que se centra en las técnicas de fabricación de componentes utilizados para la construcción. Su objetivo es desarrollar nuevos sistemas de lógica estructural que pueden ser aplicados a la arquitectura junto con la fabricación digital. Parte de sus investigaciones se basan en la interacción de robots en la construcción, siendo así uno de las firmas mas influyentes para este tema.



**Figura 9.** Publicaciones de sustento. *Flight Assembled Architecture, Building with Flying Machines, Robotic Fabrication in Architecture Art and Design, Aerial Robotic Construction Towards a New Field of Architectural Research, Future City Architecture for Optimal Living.*

## 4.2 Consultas Comerciales

En este apartado mencionamos algunas de las consultas comerciales a las que se recurrió y se tomaron de referencia para el desarrollo de este TFM.

Estas empresas son expertas en el uso de los drones y están enfocadas al uso de estos en el ámbito arquitectónico, en la ingeniería y la construcción, así como al cuidado agrícola y la simple documentación digital. Las empresas a las que se acudió para recopilar información fueron las siguientes:

### GeoInformáticos

Es una empresa de topografía localizada en Barcelona, especializada en Topografía, Fotogrametría y GeoInformática. Ofrecen sus servicios mediante drones, como lo son la creación de ortofotos, vuelos de documentación, cálculos de mov de tierra, entre otros, y en sus servicios son implementando el uso de drones.

Han participado también en proyectos con arquitectos e ingenieros como lo son: levantamientos topográficos, obra civil, levantamiento de fachadas, escenas 3d, entre otros.

### AirDrone3D

AirDrone 3D es un empresa que se empeña en la evolución de la topografía, combina los dispositivos de ultima generación y softwares específicos. AirDrone3D afirma que los sistemas aretes no tripulados utilizados en las aplicaciones a la ingeniería y construcción optimizan los trabajos de campo, reduce drásticamente los tiempo de las operaciones y reduce considerablemente los gastos.

Esta empresa brinda servicios con drones como lo son: Fotogrametría, Cartografía, Topografía, Infraestructuras, Lineas de Alto Voltaje, etc. Todos sus servicios son con el uso de los drones, y la mayoría de los servicios que ofrecen son empleados en la arquitectura, ingeniería y en la construcción.



## **5. Metodología**

En este apartado se explican los métodos con los cuales se llegó a las conclusiones del tema y también se mencionan algunas de las referencias más importantes para el desarrollo de este TFM. El apartado de metodología se divide en: asistencia a demostraciones y entrevistas con expertos en el uso y manejo de drones.

### **5.1 Asistencia a demostraciones**

#### **Conferencia de Geoinformáticos**

En Sabadell, Barcelona.

Para hacer presente el trabajo fue necesario asistir a algunas demostraciones de drones o RPAS, buscando estudiar su efectividad en la vida real, lo que son capaces de hacer, y en que se están usando hoy en día en el mundo de la arquitectura y la edificación. En esta conferencia se habla de las ventajas y desventajas que tiene el uso de los drones en la arquitectura, así como las facilidades que te brindan al emplearlos al realizar un proyecto.

#### **El Despacho Geoinformáticos**

Esta conferencia fue dada por el despacho de topógrafos Geoinformáticos, los cuales, desde su inicio hace dos años se han dedicado a realizar diferentes proyectos con drones en toda España.

El despacho de topógrafos se especializa en brindar servicios mediante el uso de drones, como son vuelos de documentación, creación de ortofotos, cálculo de movimiento de tierras mediante MDT, control o revisión de estructuras, o simplemente un vuelo de filmación promocional.

#### **Demostración de campo**

En la conferencia asistida, comenzaban por dar una demostración de campo para mostrar la habilidad del manejo de los drones. Explican los diferentes tipos de drones que manejan, tanto su autonomía como las limitaciones de peso que tenía cada uno.

En este caso, se trataban de un quadcopter (4 hélices) y un hexacopter, (6 hélices Fig. 10). El primero un drone muy común que se le puede colocar una cámara GoPro, con una autonomía de 10 a 15 minutos y un peso de 2 kg aproximadamente. Comenta el Ing. Othmar Brunner que para hacer algunas fotos, este drone es suficiente. El segundo se trata de un drone profesional, ya que lleva un GPS, un estabilizador y un soporte para la cámara que está pensado para la filmación en alta definición. Con una autonomía de 15 minutos, un alcance de 3.5 km y un peso aproximado de 8 kg.

El manejo de los drones, como explicaban los topógrafos, era muy sencillo, una vez sabiéndolo usar es fácil siempre y cuando este en un espacio abierto sin obstáculos, y respetando las leyes españolas de vuelo de vehículos aéreos no tripulados.

En la prueba de vuelo del hexacopter, el drone profesional, se pudo observar que para poder volarlo normalmente se necesitan dos personas, uno es el que se dedica simplemente a pilotear el drone, y la segunda persona se centra a la filmación, esto a través de una gafas que permiten ver en tiempo real lo que se esta filmando permitiéndole concentrarse solo en lo que quiere captar desde el drone.



**Figura 10.** El drone negro es un hexacopter (6 hélices) con un estabilizador y una cámara profesional. El drone blanco es un quadcopter (4 hélices) que puede llevar una cámara GoPro.

Los Ingenieros nos hablan que existe un programa de planificación de vuelo, mencionan que es una plataforma básicamente como Google Earth. El programa es bastante sencillo solo les pide ciertos datos como:

Tipo de lente de la cámara: para poder calcular los metros del suelo.

Altura: en la que queremos volar.

Velocidad: la velocidad que va a viajar el drone, 10m/s aproximadamente.

Área: definir el área a volar para que el drone calcule las pasadas que tiene que volar.

Después de tener la misión programada para el drone, se envía a tomar la información digital con las pasadas que requiera el área definida. Una vez terminada su misión regresa a su sitio para procesar y poder observar la información digital obtenida.

## Función de un Dron en Arquitectura

Según los GeoInformáticos en su presentación en Sabadell, las funciones que podría tener un dron en un proyecto arquitectónico se dividen en 4 fases:

- 1 Fase de Pre Proyecto
- 2 Fase de Planificación
- 3 Fase de Ejecución
- 4 Fase de Post Proyecto o Venta

Explicadas están explicadas en el capítulo de **Función de un dron en arquitectura actualmente** dentro de este documento.

## Proyectos realizados

Presentan algunos de los proyectos que arquitectos o ingenieros les han solicitado, en los cuales se ha implementado el uso de drones y se comentan a continuación:

**Documentación de vuelo:** En uno de sus proyectos, un arquitecto estaba interesado en mostrar que una de sus obras se integraba perfectamente en el ambiente, que no molestaba a las edificaciones vecinas, encargando así al despacho GeoInformáticos un vuelo de documentación de su proyecto.



**Figura 11.** Fotografía aérea del proyecto en Girona (Fuente: GeoInformáticos)

**Tema de documentación de fachadas:** en Barcelona, un parking que tenía que bajar 4 plantas, antes de empezar a excavar, los GeoInformáticos volaron la fachada obteniendo imágenes de muy alta resolución, estas se depositaban delante de un notario para testigo de estado actual antes de empezar la obra. viendo así la efectividad que tiene un dron para este tipo de tareas.

**Traslado de grúas:** Otro sería el traslado de grúas filmando desde el cielo y desde el aire creando al final un video de promoción para una empresa que dedica a alquilar grúas.

**Placas fotovoltaicas:** con una cámara térmica los ingenieros volaron un área de placas fotovoltaica con el fin de hacer mantenimiento de estas y ver cuáles tenían funcionaban y



cuales no dependiendo de la temperatura de la placa, observando por medio de la cámara termográfica.

**Líneas eléctricas:** otro proyecto al cual fueron solicitados fue el de un control de líneas eléctricas, comentan que estas también se vuelan con el motivo de verificar los cables y los tornillos, para así tener en orden el mantenimiento de las líneas eléctricas.

### Imágenes de la demostración



**Figura 12.** Imágenes de la demostración de campo de GeoInformáticos. Se muestra el uso de dos personas para el control de un drone profesional, el que pilotea el drone y el que controla la cámara.

## Conclusiones

GeoInformáticos nos hizo ver que los drones están siendo útiles en varias aplicaciones y no solo en la arquitectura, como por ejemplo, en la agricultura, en la grabación de eventos, inspecciones de líneas eléctricas, inspección de placas fotovoltaicas, etc...

La demostración de campo fue de mucha ayuda ya que pudimos observar que tan hábiles son los drones y en que tantas diferentes ramas de la construcción y edificación pueden ayudar.

En la demostración también pudimos observar:

La gran estabilidad que tiene un drone y el sencillo manejo una vez ya sabiendo utilizarlo.

La precisión que tienen los drones a una altura de 50 metros pueden diferenciar hasta 1.5 cm lo que hay en el piso del área fotografiada. El uso de un drone profesional requiere de dos personas, uno que maneja la cámara y otro que pilota el drone.

Hoy en día, las empresas que están trabajando con drones, comentan que ven infinitas posibilidades de los drones en la construcción. Es una tecnología que va avanzando muy rápidamente y no dudan que en un futuro los drones sean una herramienta esencial en arquitectura.

## 5.2 Entrevistas con Expertos

Para este apartado tuvimos que realizar algunas entrevistas a despachos que se dedican a brindar servicios con drones, expertos en el manejo de drones, para informarnos de que están pensando los que hoy en día trabajan en el campo de drones junto con la edificación.

### Expertos

GeoInformáticos

Air Architectual Solutions

### Preguntas

1. ¿Que tan frecuente hacen usos de sus drones para alguna aplicación arquitectónica?
2. ¿Cuales son los campos en los que podría trabajar un drone en arquitectura actualmente?
3. ¿Cual es el siguiente paso de los drones dentro del mundo de la arquitectura?
4. ¿Cuales podrían ser algunas futuras aplicaciones de los drones en el mundo de la arquitectura?
5. ¿Podrá trabajar directamente en campo de la construcción ?



## **5.2.1 Entrevista a Air Architectural Solutions**

### **¿Que tan frecuente hacen usos de sus drones para alguna aplicación arquitectónica?**

Los drones y toda la daría que podemos recolectar mediante su implementación son de gran ayuda en el desarrollo de análisis de sitios, proporcionando valiosa información desde visual, cartográfica y topográficamente.

### **¿Cuales son los campos en los que podría trabajar un drone en arquitectura actualmente?**

Es una herramienta, no nos olvidemos de esto. Se puede realizar estudios topográficos con un alto margen de precisión mediante la implementación de una combinación de fotografías en diferentes condiciones de un sitio, inmueble o inclusive de un objeto común. Y en combinación con la información cartográfica recopilada del sistema GPS. Podemos generar geometrías topográficas en 3D así como el mapeo de la misma superficie. Esto permite desarrollar planes maestros a nivel conceptual o de ante proyecto sin necesidad de un estudio topográfico completo. Reflejándose en los costos de los proyectos.

### **¿Cual es el siguiente paso de los drones dentro del mundo de la arquitectura?**

La tecnología de aeronaves tripuladas por control remoto ha ido muy lejos, estamos haciendo uso de tecnología de origen militar para usos en diferentes industrias. Desde los desarrolladores tecnológicos y de aplicaciones, impresoras 3D con drones, y por supuesto no pueden faltar los que se pasan de listos y irresponsablemente ven la herramienta como un juguete y han regado a desarrollar drones de uso civil que disparan un arma.

### **¿Cuales podrían ser algunas futuras aplicaciones de los drones en el mundo de la arquitectura?**

Se han venido aplicando regulaciones el uso de los drones en sus distintas categorías. La tendencia se ha ido propagando a nivel internacional, unos países mas estrictos que otros. Sin lugar a dudas ya no es tan fácil como antes, la política implementada por España es un claro ejemplo de ello. Esto va a permitir depurar este tema quienes usan una herramienta y quienes usan un juguete.

### **¿Podrá trabajar directamente en la construcción?**

Comenzaron las impresoras 3D para objetos a pequeña escala con el tiempo se imprimió la primera casa en 3D. Existe un prototipo de drone que imprime en 3D y funciona. Sin lugar a dudas no sería de extrañar que esta tecnología llegue a influenciar en el mercado de construcción.

## 6. Estado del Arte

En este apartado se mencionan algunas de las aplicaciones en las que se ha implementado el uso de drones o RPAS en el mundo de la arquitectura, como son la cartografía, la topografía, construcción de modelos 3d, construcción aérea, análisis del proceso constructivo con drones, y otras aplicaciones.

### 6.1 Cartografía

La cartografía es una técnica que interpreta, analiza y representa gráficamente parte o todo de la superficie de un astro. Desde antiguo se ha elaborado la cartografía del terreno para simplificar los elementos que en él intervienen. Pero hoy en día se ha incrementado la demanda y disponibilidad de los datos espaciales por lo que se hace necesaria la obtención de datos a una escala de tiempo y espacio reducida. Los instrumentos utilizados para representar la cartografía han pasado del papel a la cartografía digital, propiciado por una mejora de la tecnología. Los Sistemas Aéreos Remotamente Pilotados (RPAS), se han convertido en unas herramientas de obtención de información muy útil y eficaz que ahorra tiempo, reduce los costes y genera resultados muy satisfactorios. Los datos espaciales adquiridos serán la base de los diversos procesos que servirán para elaborar la cartografía deseada.

Para el manejo de los datos y la elaboración de la cartografía se utilizan tres tipos de programas:

- Los programas orientados al Diseño Asistido por Ordenador (**CAD**), capaces de generar dibujos 2D y modelados 3D.
- Los programas de Sistemas de Información Geográfica, permiten combinar y relacionar diferentes elementos georeferenciados en el espacio.
- Programas para Teledetección que además de captar imágenes aéreas georeferenciadas permiten recoger imágenes de diferentes bandas del espectro electromagnético.

La fotointerpretación es otra herramienta muy útil para realizar la cartografía área, ya que permite determinar los elementos que intervienen en el terreno. Para ello es necesario realizar un trabajo de campo para tener claro cuáles son los objetos y elementos que se desean cartografiar, descartando aquellos que provocan confusión en el resultado final.

La tecnología GNSS (Global Navigation Satellite System), cuyo sistema más conocido, que no el único, es el GPS (Global Positioning System) permite determinar las coordenadas de cualquier punto de la superficie terrestre con gran precisión. Este sistema tiene una importancia bastante significativa en lo que concierne a la cartografía, para poder localizar de una forma precisa los elementos que se pretenden digitalizar y no cometer errores en cuanto a la posición de los drones en el espacio.

### 6.1.1. Obtención de Datos

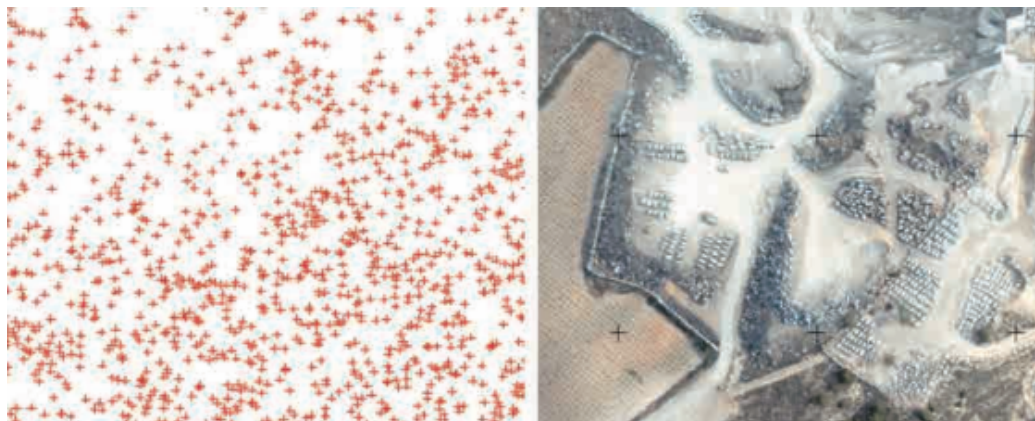
Las nuevas herramientas tecnológicas permiten obtener datos con una resolución temporal reducida y con una alta resolución espacial, tanto de fotografías como de puntos. El proceso de obtención de los datos pasa a ser desde el proceso de imágenes planas 2D a imágenes en 3D.

Las imágenes tomadas desde un RPAS son subortogonales, ya que rara vez son totalmente ortogonales, y de hecho no es necesario que lo sean, ni tampoco se busca como objetivo. La precisión de los GPS de abordaje son de varios metros (incluso 10 - 20 m), por lo que las precisiones de centímetros del trabajo final han de obtenerse mediante puntos de control en el terreno. Estos puntos de control deben de repartirse homogéneamente sobre el territorio objeto de estudio, para obtener el mínimo error posible, además de realizar un reconocimiento del terreno para identificar las formas y elementos característicos del territorio.

La elección de la escala es fundamental. La escala apropiada será la que permita ver todos los elementos deseados claramente. Aun así, a la hora de realizar el vuelo, la altura del dispositivo no debe de ser muy elevada, siendo siempre por debajo de los 120 m para poder operar dentro del margen de la legalidad conforme a la normativa en vigor en España para el uso de RPAS.

### 6.1.2. Interpretación de Datos

Una vez recogidos los datos se exportan a software especializados capaces de realizar procesamientos fotogramétricos y el posterior tratamiento de estos, creando una nube de puntos con coordenadas x, y, z, un modelo digital del terreno y composición de una ortoimagen georeferenciada. Existen programas como Photoscan o Pix 4D que se encargan de generar un modelo con el conjunto de los datos obtenidos. Para procesar los datos, previamente debe de conocerse el sistema de coordenadas que se ha utilizado en el proceso de captación de datos, y de forma muy recomendable la posición de cada una de las fotografías que se incorporen al proceso. Si las coordenadas son locales se deberá configurar previamente el software para no producir deformaciones en los resultados.



**Figura 13.** Nube de puntos y ortoimagen en alta resolución.

El conjunto de los registros con las coordenadas x, y, z, se denomina nube de puntos. Según la resolución con la que se quiera trabajar se puede crear una nube de puntos más o menos densa. Cuantos más puntos, mayor información y mayor detalle, cuanto menos puntos menor resolución espacial. esta nube de puntos permite realizar superficies y con ello analizar el terreno. Las superficies se crean a partir de un método de triangulación que genera el Modelo Digital de Superficie (DSM por sus siglas en inglés), y mediante técnicas de filtrado y algoritmos de programación, el modelo digital del terreno (DTM por sus siglas en inglés), que pueden ser modificados por el usuario según su finalidad. por último, la ortofotografía georeferenciada se crea a partir de la unión de numerosas fotografías creando un mosaico, conociendo sus coordenadas x e y en el espacio.

Una vez generados estos modelos, se exportan a un programa software para modelar, analizar o diseñar. para este cometido, existen unos software especializados de diseño asistido como Autocad o Microstation, y software de Sistemas de Información Geográfica como ARCGIS, Quantum GIS, o Global Mapper entre otros.

Los software de diseño asistido por ordenador están orientados a la creación y edición de objetos. A partir de la nube de puntos se puede crear una superficie (DTM) pudiendo tomar diferentes estilos ya sea como curvas de nivel, modelo de elevaciones o modelo de la pendiente.

### **6.1.3. Resultados Finales**

La cartografía es el único procedimiento gráfico que permite una representación del espacio geográfico mediante la escala y los sistemas de proyección. Los resultados se representan en Mapas y Planos en función de la escala a la que se representen, siendo los mapas una interpretación gráfica simplificada de la realidad. ya se ha indicado que los formatos en los que se puede procesar la información son diversos, desde formato vectorial (puntos, líneas o polígonos), formato ráster u ortoimágenes, todos en ellos en dos dimensiones. Pero también se puede visualizar la información en una tercera dimensión, mediante la creación de modelos 3D. Toda representación gráfica debe ir acompañada de escala, sistemas de coordenadas y leyenda de los elementos que aparecen en el área cartografiada.

Una de las características que más ha evolucionado en los últimos tiempos en los modelos digitales del terreno, es la posibilidad de realizar modelos 3D interactivos asociados a formatos estándares como PDF's, o ficheros .Kmz de Google Earth que permiten interactuar con el terreno. El empleo de RPAS ha reducido el coste de estas actualizaciones, permitiendo acercar al usuario final una actualización interactiva muy sencilla y totalmente actualizada de los terrenos que se vuelan con estos sistemas.



**Figura 14.** Composición cartográfica por capas 3D (ortoimagen, curvas de nivel, y DTM a diferentes alturas) (Fuente: UAV Blackbirds S.L.)

#### **6.1.4. Conclusión**

El uso de los RPAS o Drones contribuye a la obtención de datos espaciales en un periodo corto de tiempo y con una alta resolución espacial a un coste reducido. Anteriormente a su aparición, todo dependía de la disponibilidad de los satélites, de aviones tripulados o de la cartografía realizada a pie de campo.

Hoy en día las aplicaciones de los RPAS para cartografía son múltiples abarcando diversos campos del conocimiento; el medio ambiente, la agricultura, las actividades industriales, el urbanismo, etc., aunque es importante destacar que a nivel normativo, y hasta la fecha, únicamente se pueden realizar operaciones con RPAS en espacio aéreo no controlado, y fuera de núcleos de población, por lo que esta es una de las restricciones de uso que limitará el uso de estos sistemas.

De cualquier forma, a modo de conclusión, a pesar de los condicionantes indicados, el empleo de esta tecnología supone más ventajas que inconvenientes en el resultado final, lo que unido a la reducción de costes que tendrá a medio plazo, hará de ella una tecnología por la que apostar para las Aplicaciones cartográficas.

## 6.2 Topografía

Es la técnica o herramienta, por la cual quedan representados de forma digital o impresa, en situación y forma los elementos físicos que nos rodean.

La topografía se realiza comúnmente para auscultar infraestructuras, ayudar en actividades de minería, y movimientos de tierras, permitir el desarrollo urbano, gestión de propiedades, así como de plasmar físicamente los proyectos que se realizan en los estudios de ingeniería y arquitectura.

Los mapas topográficos utilizan el sistema de representación de planos acotados, mostrando la elevación del terreno utilizando líneas que conectan los puntos con la misma cota respecto de un plano de referencia.

### Innovación técnica

A través de los instrumentos topográficos tradicionales y los de nueva generación se recogen información geoespacial de los elementos a estudiar. La solución a todos inconvenientes topográficos está en el uso de las herramientas tecnológicas apropiadas para cada trabajo, como el uso de drones en este caso.

A partir de un recorrido aéreo, se representa el terreno transformándolo en un modelo 3d. Una vez escalado se extraen sus cotas para finalmente representar las líneas de nivel obteniendo un preciso mapa topográfico de la zona estudiada sobre una ortofoto.



**Figura 15.** Ortofoto y nube de puntos de un proyecto. (Fuente: GeoInformáticos)



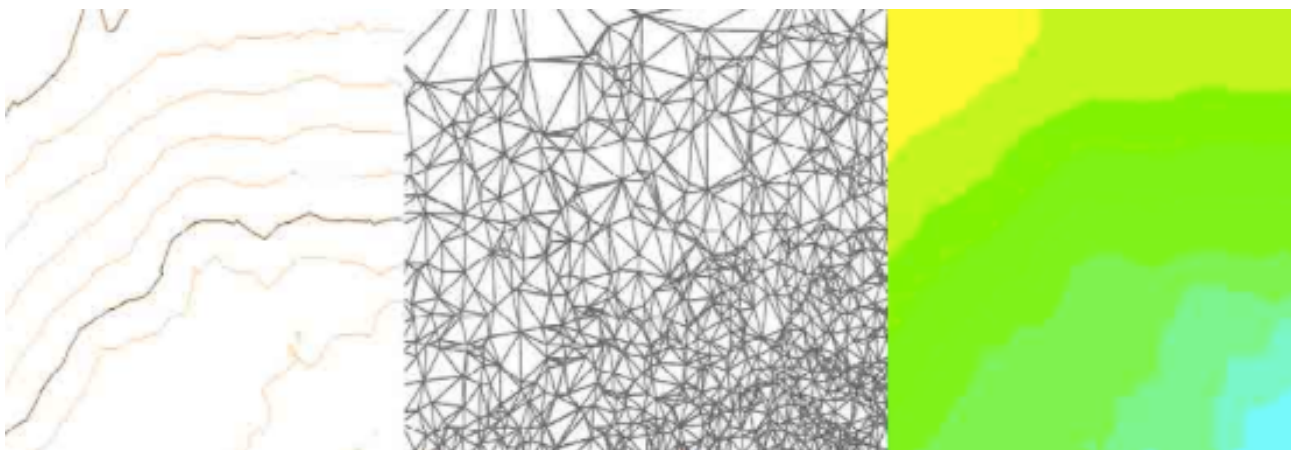
### 6.2.1 Modelo Digital de Elevaciones (o Modelo Digital de Superficie) y Modelo Digital del Terreno

Estos modelos se crean a partir de una nube de puntos generada y procesada en el software del procesamiento fotogrametrico, correspondiendo cada punto a unas coordenadas x, y, z. Luego se transfieren los datos a un programa de diseño asistido por ordenador (CAD) capaz de georeferenciar.

El Modelo Digital de Elevaciones (MDE) representa, mediante una capa ráster, el relieve de la superficie tal y como se encuentra teniendo en cuenta las infraestructuras, edificaciones, vegetación, etc.. Mientras que el Modelo Digital del Terreno (MDT) solo representa la superficie del relieve sin contar con las actuaciones antrópicas. Por ello se debe de trabajar con la superficie y eliminar o modificar aquellos puntos en los que toman objetos como árboles, edificios, etc...

Existen 3 maneras para representar estos modelos para simplificar información:

- Las curvas de nivel son líneas que unen puntos con la misma altura siendo los intervalos generalmente constantes.
- Otro sistema es el de las redes irregulares de triangulación. Se crea a partir de la triangulación de un conjunto de vértices que forman una red de vectores conectados. este método de representación alenta el proceso y no aporta mucho a la hora de analizar el terreno.
- Por último, también se puede representar con formato ráster. Este formato es más cómodo ya que permite visualizar las diferentes altitudes en diferentes gamas de color.

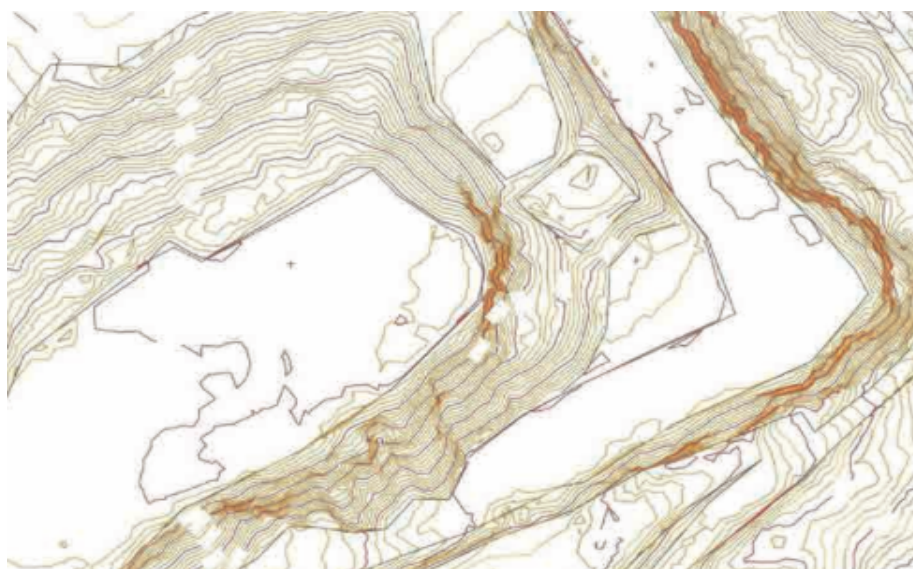


**Figura 16.** Diferentes métodos de representación de un MDE y un MDT: Curvas de nivel, del de triangulación y ráster.

### 6.2.2 Mapa Topográfico

Este modelo de representación cartográfica debe contener el MDT para, posteriormente, obtener las curvas de nivel, base de este tipo de representación. Los intervalos de cada línea deben de ser constantes y pudiéndose configurar según lo desee el usuario, además de añadir etiquetas y modificar el color de las curvas de nivel. Para una mejor visualización puede añadirse sombreados teniendo en cuenta la orientación de la superficie. junto al relieve, un mapa topográfico también incorpora otra información muy variada, como son las redes hidrográficas, las obras civiles, edificaciones y demás elementos humanos, todo ello representado por medio de símbolos y signos.

El mapa topográfico es un elemento dinámico que cambia constantemente en el tiempo por lo que es necesario modernizarlo continuamente.



**Figura 17.** Fracción de plano topográfico de curvas de nivel.



## 6.3 Mantenimiento de líneas eléctricas de alto voltaje

Las líneas de alto voltaje son líneas eléctricas que distribuyen potencia a voltajes muy elevados. El mantenimiento de estas líneas es un trabajo arriesgado, que requiere un enorme cuidado y precaución. El mantenimiento de las líneas de tensión acarrea la evaluación de las torres, la inspección de los materiales aislantes y la detección de problemas termográficos.

Red Eléctrica de España (REE), transportista y operadora del sistema eléctrico español, considera que el uso de los RPAS puede convertirse en una herramienta muy interesante para la gestión de sus instalaciones. REE gestiona en la actualidad más de 41.200 km de líneas de alta tensión y más de 5.000 posiciones en subestaciones eléctricas, lo que implica una considerable tarea de mantenimiento de instalaciones. La búsqueda de la integración de los drones en los procesos de mantenimiento se enmarca en REE dentro de la política empresarial de mejora de procesos.

### Los Drones como herramienta de mantenimiento de líneas

El uso de vehículos aéreos tripulados remotamente como alternativa al helicóptero se ha planteado en numerosas ocasiones por parte de las empresas eléctricas.

En concreto, en REE se han desarrollado diferentes proyectos de investigación que han buscado integrar vehículos radio controlados en las tareas de mantenimiento de líneas.

En el lado de las ventajas, destacan las siguientes:

**Reducción de costes:** Parece intuitivo que el uso de aparatos más pequeños, ligeros y baratos que los helicópteros tripulados debería dar como consecuencia una reducción de costes en los procesos en los que se integren.

**Reducción de riesgos en los trabajos:** Igualmente intuitivo resulta que los riesgos para los trabajadores se reduzcan porque nadie esté presente físicamente en la aeronave. Ante una posible avería del dispositivo, el riesgo se reduce a que haya personas o bienes en el lugar de la caída

**Versatilidad:** Los drones van a permitir realizar trabajos desde un punto de vista nuevo para el hombre, que no está acostumbrado a volar, y es de prever que irán surgiendo múltiples usos.



**Figura 18.** Diferentes imágenes de drones inspeccionando líneas eléctricas de alto voltaje.

### 6.3.1 Usos potenciales del drone en el mantenimiento de líneas eléctricas

- Inspección intensiva de líneas: es una tarea que se realiza a pie, en la que se inspeccionan visualmente todos los elementos de las líneas. Requiere que el personal se suba a los apoyos.
- Inspección aérea de líneas: la sustitución del helicóptero por un drone para este proceso será viable si se cumplen una serie de condiciones: autonomía suficiente y posibilidad de vuelo fuera de la línea de vista del piloto.
- Topografía: La topografía que hoy en día se hace tomando datos desde un helicóptero es susceptible de cambio. esos datos podrían tomarse desde un drone si la autonomía y el tramo de línea a topografiar son compatibles.
- Apoyo de Emergencia: los drones son una alternativa interesante para esta tarea, siempre que el dispositivo soporte condiciones climatológicas adversas.
- Transporte de Cargas: Los drones actuales pueden servir para el transporte de elementos ligeros a puntos situados en altura. quizá puedan utilizarse para manipular objetos que estén en lugares de difícil acceso, ya sea un drone aislado o agrupados.



**Figura 19.** Drones cooperando entre ellos para el transporte de cargas.

### 6.3.2 Inspección a tiempo real

La inspección se realiza actualmente desde tierra o helicópteros. La diferencia es que los inspectores de las líneas que trabajan desde tierra necesitan trepar por postes para acceder a las líneas, mientras que los inspectores que usan helicópteros no.

La inspección con drones es mucho más rápida y segura, sin los inconvenientes que generan tecnologías antiguas como el uso de helicópteros, mucho más caros y a veces restringidos en términos de tiempo para evitar perturbaciones.

Los drones llevan cámaras consigo que producen imágenes de alta resolución así como imágenes térmicas. Están equipados con transmisores permitiéndoles la transmisión de las imágenes en directo, son fáciles de desplegar y pueden volar a unos cuantos metros de las líneas.

Las inspecciones asistidas por UAS pueden mejorar la calidad y seguridad de la inspección, aumentar la frecuencia de inspecciones y reducir los costes de la inspección, todo al mismo tiempo.



**Figura 20.** Drones y trabajadores en colaboración para la inspección de las líneas eléctricas de alto voltaje.

## Conclusiones

Los drones son una herramienta muy interesante para el desarrollo de varias tareas del mantenimiento de líneas eléctricas. Se han descrito los procesos de trabajo que tradicionalmente se ejecutan en el sector con vehículos aéreos, así como los usos potenciales que parecen mas inmediatos para los drones.

Los drones o RPAS podrán ser buena alternativa en estos procesos si demuestran ciertas características en el futuro, como lo son la fiabilidad y el rendimiento. A mi parecer el futuro inmediato del mantenimiento de líneas eléctricas en todo el mundo pasara de ser con helicópteros a ser con drones o RPAS.

## 6.4 Inspecciones Termográficas Aéreas

La termografía infrarroja es fundamental para un buen análisis del estado de la envolvente de los edificios para localizar posibles puentes térmicos, defectos de aislamientos, humedades y muchas otras patologías de los edificios.

Cuando una persona adquiere experiencia en las inspecciones a pie, que son las inspecciones que generalmente se hacen (90% podríamos decir), con cámaras portátiles, acaba descubriendo sus limitaciones y con cierta frustración termina su trabajo dejando sin inspeccionar algunas zonas del edificio o industria, bien por la altura de éste, por su extensión o por otras causas que limitan el alcance de la inspección.

Es en estas situaciones en las que el uso de los drones puede ayudar a continuar con la inspección, incluso dando información adicional muy útil, la que proporciona la altura y el ángulo con el que se va a tomar las imágenes de cubiertas, instalaciones, grupos de edificios, etc.

El poder colocar la cámara termográfica, perpendicular al objeto y sobre éste, permitirá obtener una imagen que hasta ahora no han podido tener los que se dedican a las inspecciones termográficas.

Lo que se puede termografiar desde el aire serian los siguientes:

- Cubiertas: uno de los puntos débiles de todo edificio, desde el punto de vista energético, es su cubierta. Tanto si se trata de una cubierta plana como a dos aguas o de otro tipo, la inspección desde el aire permitirá captar la máxima intensidad de radiación y eliminar todas las fuentes de reflexión posibles
- Envolventes: en el caso de edificios de gran altura, puede ser interesante realizar un vuelo para poder inspeccionar las partes altas del edificio, zonas inaccesibles como terrazas o encuentros de fachadas, especialmente si el edificio tiene una geometría compleja.
- Escala de Barrio: cuando se realizan inspecciones de edificios, siempre es interesante hacer alguna comparación con otros edificios del entorno. Desde el aire esto será mucho más efectivo y puede que una única imagen baste para que se pueda determinar la eficiencia energética de un barrio entero.
- Efecto isla de calor: es posible estudiar este fenómeno con el uso de la termografía aérea, pues como en el punto anterior, la imagen global de un barrio o zona más extensa del territorio puede poner de manifiesto el efecto isla de calor de determinados núcleos urbanos.



**Figura 21.** Imagen aérea del estudio termográfico de las envolventes de varios edificios

### Conclusiones:

Las aplicaciones de la termografía infrarroja son casi infinitas, pues todos los cuerpos emiten calor. La inspección termográfica aérea no es más que una ayuda para los técnicos, que permitirá obtener un punto de vista nuevo y muy relevante por el ángulo y la distancia a la que son tomados.

También se puede ganar en velocidad de inspección cuando se trata de grandes superficies para inspeccionar. La ayuda del dron puede suponer un importante ahorro de costes de horas de trabajo y la garantía de no dejar ninguna zona sin revisar.

## **6.5 Aplicaciones Urbanísticas**

El objetivo de este apartado es hacer ver que tan útiles son las aeronaves en la gestión y en el diseño de una ciudad, desde la producción de cartografía hasta el apoyo en el desarrollo de un urbanismo sostenible.

El gran desarrollo de los UAV se debe a dos factores: demanda de información geográfica y el desarrollo de los sensores. En primer lugar nos encontramos en un escenario donde la cartografía se ha democratizado. esta cartografía ha de ser actual y rápida, ofreciendo una información exacta.

Las metodologías y plataformas convencionales de producir información geográfica hacen que, en términos económicos, resulte inviable actualizar la base de datos cartografía de cualquier lugar, es en este punto donde los drones ocupan su posición dentro del proceso de producción cartográfica, siendo posible generar productos cartográficos actualizados de ciertas áreas.

### **Aplicaciones**

Algunas de las aplicaciones de los drones dentro del sector urbanístico podría ser:

#### **Cartografía**

Una de las aplicaciones mas directas y populares en el uso de plataformas no tripuladas es la generación de productos cartográficos. El producto conseguido es una herramienta perfectamente válida tanto en la fases de diagnóstico y elaboración de planes urbanísticos como en las tareas de seguimiento y ejecución de dichos planes.

#### **Calidad del aire**

Hoy en día ya existen aplicaciones y proyectos para monitorear la calidad del aire y el agua con el uso de drones. mediante sensores medidores de concentración de monóxido de carbono, ozono u otras partículas se está ya analizando el estado de la atmósfera sobre entornos urbanos.

#### **Policías Urbanísticas**

Los drones pueden ser empleados como policías urbanísticos por que pueden llegar detectar cambios en el territorio tales como presencia de nuevas edificaciones. Estas tareas pueden ser elaboradas desde dos espacios distintos: bidimensional, trabajando con ortofotos es posible detectar la construcción de nuevos edificios, y con el tridimensional, es posible detectar cambios estructurales como la construcción de una nueva planta en una edificación.



### **Índice de contaminación lumínica:**

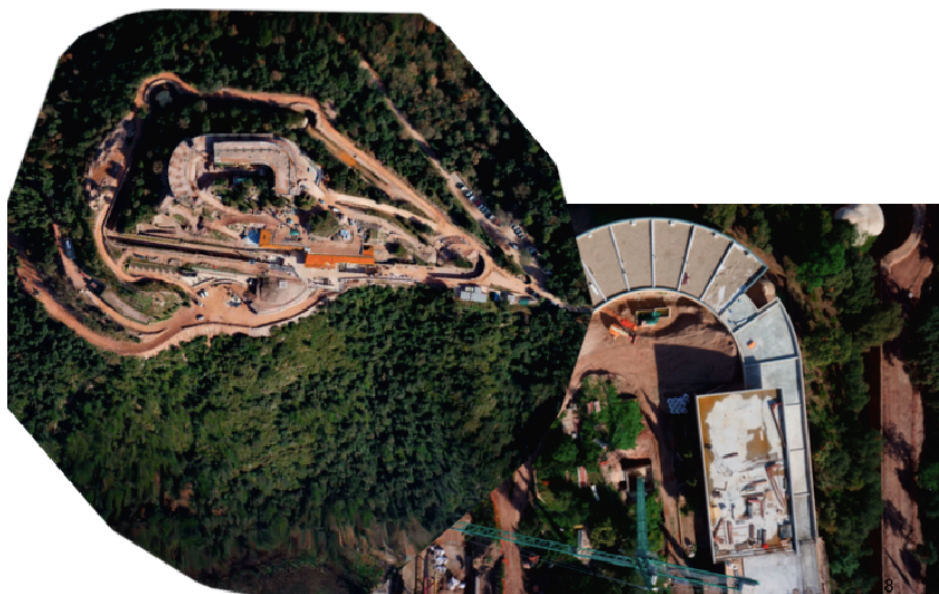
Otras de las aplicaciones interesantes que se pueden aplicar en el ámbito urbanístico a nivel ciudad es el índice de contaminación lumínica que existe, elaborando mapas y productos cartográficos a partir de la exploración de imágenes nocturnas. De la información generada es posible hacer cambios en el diseño de las luminarias del entorno urbano estudiando, reduciendo o minimizando la iluminación innecesaria.

### **Gestión y mantenimiento de zonas verdes**

El mantenimiento de las zonas verdes y parques de las ciudades es otro tema abordable mediante el uso de drones o RPAS. La información recogida por sensores térmicos permiten la aplicación de técnicas de teledetección que asisten en estas tareas, permitiendo ver por ejemplo, necesidades de agua en zonas verdes. En zonas donde aparezcan con relativa frecuencia periodos de escasez de agua.

### **Análisis de la eficiencia energética de edificios**

Las inspecciones de fachadas de edificio es hoy en día una realidad. Además de los estudios locales, las posibles concentraciones de calor o frío dan lugar a microclimas urbanos. Estos juegan un papel importante tanto en el consumo energético como en las sensaciones de confort. Siendo posible realizar inspecciones localizadas en el espacio empleando sensores a bordo de los drones.



**Figura 22.** Productos cartográficos mediante el empleo de drones, Ortofotos.

## **Conclusiones**

El uso y aplicación de los drones en el sector civil es hoy día una realidad, siendo una herramienta de trabajo muy útil en aplicaciones de arquitectura y urbanismo. A partir de los sensores abordo de estas plataformas es posible adquirir información del territorio tanto en modo imagen, colector de partículas, medición de parámetros atmosféricos, etc. teniendo en cuenta un escenario de trabajo urbano, las aplicaciones a desarrollar van desde la planificación del proyecto a la creación de los espacios.



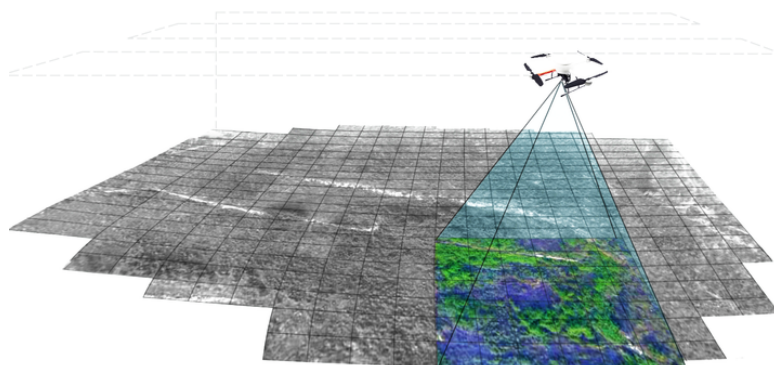
## 6.6 Otras aplicaciones

### 6.6.1. Fotogrametría

En Base a técnicas de fotogrametría digitales, se determinan las propiedades geométricas de los objetos a partir de fotografías aéreas en alta resolución. Esta técnica se basa en la toma de fotográmicas con diferentes puntos georeferenciados sobre el terreno para extraer un modelo tridimensional a escala.

Mediante el uso de UAV y a su previa planificación de vuelo, se procede a la toma de estas imágenes y a un posterior procesado mediante el cual es posible eliminar o insertar elementos como la vegetación.

En la formación del modelado, se determina a la estructura sus coordenadas, georeferenciando su lugar en el mapa gracias al GIS (sistemas de información georeferenciados), obteniendo así una situación exacta además de sus medidas en verdadera magnitud.



**Figura 23.** Dron haciendo un trabajo de fotogrametría en un área determinada.

### 6.6.2 Control de Infraestructuras

Las infraestructuras clave incluyen estructuras técnicas como carreteras, puentes, canales, aeropuertos y redes ferroviarias. El mantenimiento de estas estructuras es indispensable para el correcto funcionamiento de la economía moderna.

Una gran dificultad para los empleados del servicio de mantenimiento e inspección es la gran superficie que algunas estructuras abarcan. Para realizar un mantenimiento en condiciones, las estructuras deben ser inspeccionadas a conciencia, aunque la inspección física de cada parte requiere mucho tiempo.

Los drones pueden inspeccionar áreas más grandes, de formas diferentes, en menos tiempo y a menor precio. Adicionalmente, las inspecciones regulares más frecuentes

facilitan un reconocimiento más rápido de los problemas, lo cual significa menores costes de mantenimiento.

Ventajas:

- Grandes estructuras como puentes y túneles en poco tiempo.
- Edificaciones de difícil acceso como torres petrolíferas, grúas, etc.
- Máquinas sensibles que necesitan supervisión diaria (Atracciones, etc.)

### 6.6.3 Energías renovables

La creciente importancia de los recursos renovables ha motivado a los gobiernos a invertir en energía eólica, solar y térmica. Como resultado de esto, el número de turbinas de viento y superficies de placas ha aumentado exponencialmente a lo largo de los últimos años. A la vez que aumentó el número de instalaciones, también incrementó la necesidad de métodos de inspección más baratos y seguros.

#### Ahorro y eficiencia

Hay varios métodos de inspección de turbinas, placas y centrales térmicas, como las plataformas hidráulicas, plataformas de servicio, grúas hidráulicas o descenso en cuerda. El problema de estos métodos es que requieren equipos pesados o escalar, lo cual consume tiempo, es costoso y muy peligroso.

Los sistemas no tripulados no requieren equipamiento pesado y no necesitan que los inspectores suban a la turbina o recorran grandes zonas de placas, por lo que se reduce el tiempo de inspección y también, de forma drástica, el tiempo de inactividad de los distintos sistemas

La ventaja de los drones es que pueden proporcionar varios métodos de inspección incluyendo las imágenes de alta resolución, grabaciones en alta definición completa y hasta imágenes térmicas multiespectrales a precios más bajos que con los métodos tradicionales.

Ventajas:

- Grandes superficies en poco tiempo.
- Ahorro de costes de personal y mayor seguridad.
- Acceso a zonas complicadas con diferentes clases de mediciones.



**Figura 24.** Tomas desde drones de las posibles zonas a estudiar (Fuente: página web de Airdrone3D).

## 6.7 Conclusión del estado del arte

Podemos observar las infinitas aplicaciones que existen para los drone o RPAS en el campo de arquitectura e ingeniería, en el documento se observa básicamente las aplicaciones en las cuales los drones ya están siendo utilizado como lo son la cartografía, obtención de modelos digitales 3d, inspección de líneas eléctricas, entre otras.

Como conclusión podemos decir que el uso de drones o RPAS contribuye mucho en la obtención de datos, lo hacen con una muy alta resolución y a un coste muy reducido. Antes de la aparición de los drones, todo dependía de la disponibilidad de aviones tripulados o de la cartografía realizada a pie de campo.

También podemos ver que los drones benefician hasta en el ahorro y la eficiencia de energía y en el cuidado de energías renovables. Estas a aplicaciones, aunque no sean directas hacia la arquitectura, como lo seria la agricultura por ejemplo, llegaran a desarrollarse hasta cierto punto que puedan ser útiles los avances de la agricultura en la aplicación de drones en arquitectura. Como por ejemplo, el proceso de fumigación en agricultura, implica poder acarrear cierta cantidad de fertilizante, eso implica carga, en un futuro, mediante el desarrollo de la tecnología, será capaz de acarrear mas peso que hoy en día, encontrando así un punto beneficio en común entre estos dos campos.

## 7. Estado del Arte en Arquitectura y Construcción

### 7.1 Análisis del Proceso Constructivo

La ejecución de cualquier obra es un proceso que requiere de un seguimiento continuo que permite la supervisión de la ejecución, de impacto visual y medioambiental y sobre todo el control económico de la obra.

El proceso de ejecución tanto de obras se pasa por las siguientes tres fases:



**Figura 25.** Fases de ejecución de obra.

El desarrollo de cada uno de las fases requiere de mediciones para evaluar estados, diseñar soluciones, certificar procesos de ejecución y estados finales.

En el caso de la construcción, dirección de obra y constructora necesitan:

- Medición inicial: para diseño de proyecto y estudio de impactos medioambientales.
- Seguimiento visual: para controlar procesos internos así como subcontratas, previsión de zonas de restauración, valoración de impactos y generación de medidas correctoras.
- Mediciones Parciales: para certificarse de obra, seguimiento, propuesta de modificaciones y planes de labores.
- Medición Final: para el cierre de la obra.

Hasta el momento actual, las técnicas empleadas para estos trabajos han sido topografía clásica y fotogrametría, con las siguientes características:

Topografía clásica: tiene costes elevados en cuanto al personal necesario y el tiempo requerido para su obtención y los datos que nos facilita son discretos y dispersos, aunque muy precisos.

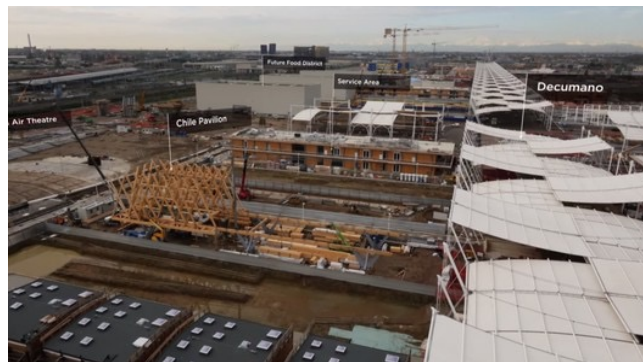
Fotogrametría: soluciona los problemas de los datos discretos y de la homogeneidad de los mismos pero plantea otras eventualidades como son: las infraestructuras de vuelo y sus elevados costes, y se requieren licencias y equipos de gran costo para su procesado.

La evolución de la tecnología ha permitido el desarrollado de soluciones basadas en datos capturados por Drones/RPAS, mediante la utilización de la plataforma de vuelo adecuada, el sensor correspondiente a la solución a proveer y el procedimiento en la captura, y también el análisis y tratamiento de datos para convertirlos en información utilizable.

Drones: Sus características permiten cubrir las necesidades en el control de la obra recogiendo bondades tanto de la topografía clásica como de la fotogrametría, reduciendo sus inconvenientes. Los Drones permiten:

- Datos muy precisos: El juego de alturas de vuelo y precisiones de los sensores embarcados nos permiten equilibrar la precisión del dato adquirido y así adaptarlo a las necesidades reales del proyecto.
- Vuelos repetitivos: Se pueden hacer varias tomas de datos puesto que sus costes no se van a disparar. A su vez permite tener datos de toda la obra en series temporales.
- Procesa lo necesario: al realizar toma de datos sistemáticos de toda la obra, se procesa, en cada caso, los datos que se requieran teniendo la posibilidad de transformar en información los datos almacenados.
- Control visual: Aquí aparece un valor añadido, y es que los mismos datos de toma geométrica posibilitan el análisis global de la obra de forma visual ya sea con fotografías panorámicas sin carácter métrico como con ortofotografías.
- Datos continuos: Al tratarse de un método de toma de datos masivos, como lo es la fotogrametría, no se tienen datos discretos ni interpolados, son datos homogéneos tanto en calidad como en cantidad.
- Costes bajos: Tanto los instrumentos de medición así como las licencias de calculo tienen costes reducidos con el uso de un drone.

Podemos resumir las ventajas de los Drones en que las mediciones realizadas con los mismos son rápidas, sistemáticas, precisas y económicas.



**Figura 26.** Imágenes del proceso de obra de la Expo Milan 2015 tomadas desde un Drone.

## 7.2 Creación de Modelos Tridimensionales

La creación de modelos tridimensionales tiene gran importancia en el mundo de la arquitectura. Para un proyecto sería de mucha ayuda poder crear un modelo tridimensional del edificio a proyectar antes de empezar a construir. Los drones pueden ser utilizados para dicha tarea, siempre teniendo en cuenta sus limitantes de peso.

A continuación se explica un proyecto realizado por la firma Gramazio & Koehler Research de como ensamblaron un modelo 3D con solo la programación de Drones.

Este artículo documenta el diseño y el desarrollo de elementos específicos del sistema autónomo detrás de una instalación única y también describe el proceso y los retos de llevar un sistema tan complejo del laboratorio al público real.

### 7.2.1. Flight Assembled Architecture

Según la firma de investigación Gramazio Kohler Research, en conjunto con el arquitecto Ammar Mirjan de la ETH Zurich, dicen en el artículo publicado en la revista IEEE Xplore Control Systems (2011), que un nuevo campo en la fabricación digital está emergiendo. El Arquitecto e investigador Ammar Mirjan explica como los drones pueden ser programados para construir edificios o modelos tridimensionales en arquitectura.

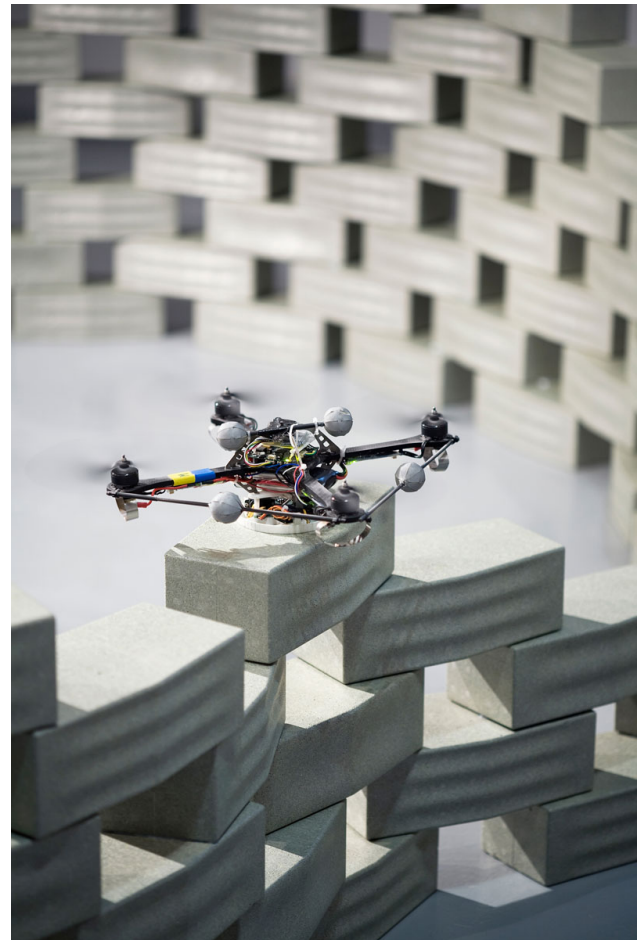
En el 2011, Gramazio Kohler Research programaron una cuadrilla de drones para levantar y emplear millares de ladrillos del poliestireno. El proyecto fue llamado “Flight Assembled Architecture” y representa una villa vertical para 30, 000 habitantes en una megaestructura porosa cilíndrica de 600 metros de altura, el proyecto fue llamado “The Vertical Village”.

Según Mirjan, que es parte del departamento de investigación de Gramazio Koehler Research, dice que:

*“Por primera vez tenemos máquinas voladoras construyendo una estructura hecha de 1,500 elementos. El resultado obtenido fue una torre de 6m de altura”.*

“Flight Assembled Architecture” es la primera instalación ensamblada por drones, libre para el toque de la mano humana. La instalación es una expresión de un diseño arquitectónico hecho por Gramazio & Kohler. El proyecto consta de más de 1,500 módulos que se colocan por una cuadrilla de Drones Quadrotor, colaborando de acuerdo a algoritmos matemáticos que traducen los datos de diseño digital al comportamiento de los Drones. De esta manera, los drones, en conjunto, se extienden a sí mismos como máquinas de arquitectura “vivas” y completan su composición desde la formación dinámica de movimiento.





**Figura 27.** La instalación de la torre del proyecto The Flight Assembled Architecture. Torre de 6 m de altura hecha de 1500 elementos y ensamblada por cuatro Quadcopters en Francia, 2011.

Aunque los ladrillos son de poliestireno, por ser bastante ligeros, para que las máquinas puedan levantarlos, según Mirja el proyecto muestra que los drones pueden ser utilizados para construir edificios en un futuro.

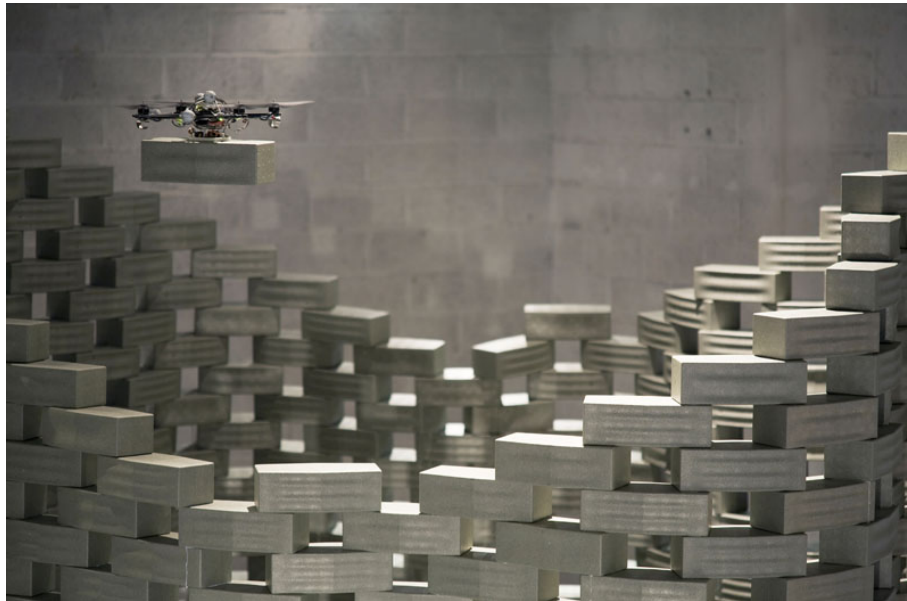
El proyecto mostró, en primera, que las máquinas pueden colaborar para construir estructuras de edificios. Y en segunda explica que los drones pueden trabajar en cierta escala del edificio actualmente.

Los Drones pueden ser programados justo como un brazo robótico industrial, pero la gran libertad que tienen de movimiento significa que pueden ser utilizados para construir estructuras mucho más altas y más complejas.

*“Las drones o RPAS son manos en un espacio tridimensional, funcionan de acuerdo a las instrucciones que se les envía.”*

Mirja dice que el uso de los drones para construir edificios en un futuro, podrían ayudar en el proceso constructivo para la construcción de edificios. Serán una herramienta elemental en el proceso constructivo, desde el diseño del proyecto, hasta el resultado final.

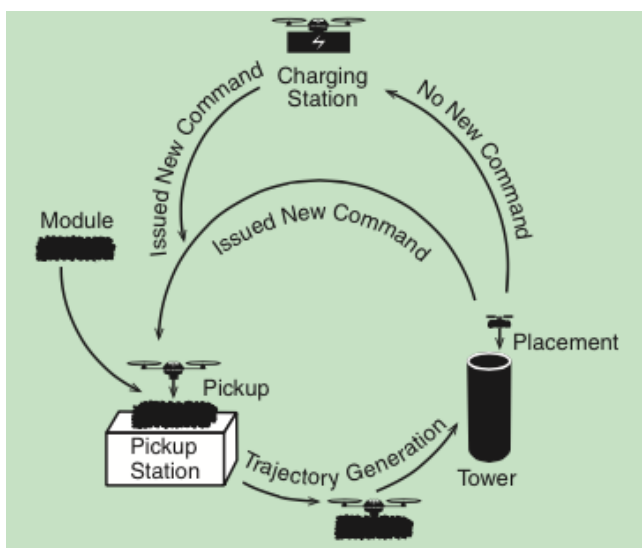




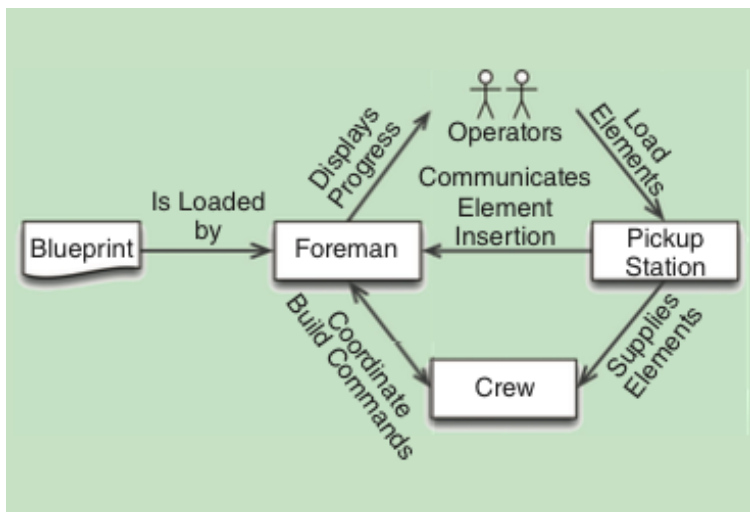
**Figura 28.** Estructura del complejo esc 1:100 instalación montada por drones que aterrizaban en una plataforma para recoger elementos de construcción y colocarlos precisamente encima de otro elemento.

### 7.2.2 Arquitectura del sistema

El sistema autónomo responsable de la construcción de la torre se divide en los cuatro subsistemas: **el plano**, que contiene una lista de instrucciones de colocación secuenciales; **el capataz**, que gestiona el proceso general de construcción mediante la interpretación de los planos, la emisión de órdenes de construcción, y el seguimiento del progreso de la construcción; **el sistema de la tripulación**, que se encarga de la ejecución de las órdenes de construcción para fabricar la estructura ; y la **estación de recogida** , que proporciona elementos de construcción a la tripulación.



**Figura 29.** El proceso de montaje de una estructura comienza cuando un módulo se coloca en la estación de recogida, lo que desencadena un comando para ser emitido a un quadcopter inactivo, que luego se encamina al módulo de la estación de recogida y lo coloca en el lugar deseado dentro de la estructura.



**Figura 30.** La arquitectura del sistema. Un diagrama de bloques muestra la organización de alto nivel y la interacción de los componentes del sistema. El plan (blueprint) contiene una lista de instrucciones de colocación secuenciales. El capataz (Foreman) gestiona el proceso general de construcción mediante la interpretación de los planos. El sistema de tripulación (The Crew) es responsable de ejecutar las órdenes de construcción para fabricar la estructura. La estación de recogida (Pick-up Station) proporciona elementos de construcción a la tripulación. Los operadores ponen manualmente elementos de construcción en la estación de recogida (Pick-up Station).

## Plano

El plano es un archivo de texto que contiene una lista de instrucciones de colocación, secuenciados por orden de colocación. Una instrucción de colocación consiste en la posición y orientación de cada elemento en coordenadas relativas de la torre, con la posición vertical dada en relación con el piso de la torre. Este diseño permite que la posición vertical sea exacta de cada elemento que se calcula en tiempo de ejecución en base a las posiciones reales de los módulos de soporte, compensando así los errores acumulativos tales como el espesor desconocida y variable de la material de unión, que se aplica manualmente a la parte inferior de los elementos antes de ser suministrado al sistema de construcción.

## Capataz

El capataz tiene dos funciones. Primero, es la interfaz gráfica para el sistema, a través de la cual los operadores pueden iniciar y detener el proceso de la construcción, limitar el número máximo de vehículos en vuelo en un momento dado, y controlar el progreso de construcción. En segundo lugar, el capataz escucha realimentación de estado tanto de la tripulación como de la estación de recogida y utiliza esta información para coordinar la construcción.

Incluye tareas como el envío de la tripulación a una nueva instrucción de colocación cuando se inserta un elemento de construcción en la estación de recogida, en respuesta a la colocación de módulos exitosos o fallidos, y el registro de la acumulación de tiempo real o el análisis posterior a la construcción.

## Sistema de tripulación

El equipo consta de una flota de quadcopters controlados por una herramienta de software centralizado. La herramienta se comunica con el capataz, las tareas de los delegados a los miembros de la flota, y controla a cada uno de los quadcopters utilizando Flying Machine Arena (FMA) componentes existentes, como el estimador de estado, y la trayectoria se carga mediante el seguimiento de controlador. Debido a la exigencia de que al menos dos quadcopters podían operar simultáneamente, el tamaño de la flota se establece en cuatro vehículos, lo que permitió dos vehículos para recargar sus baterías mientras que los otros dos estaban realizando la tarea de la construcción. Sin embargo, el equipo es capaz de manejar una flota más grande.

## Estación de recogida

La estación de recogida es la interfaz física intermedia utilizada por los operadores para proporcionar elementos de construcción a la tripulación robótica. Esta interfaz permite a los operadores mantener una distancia segura de la operación autónoma y simplifica la tarea de la tripulación de la recogida de los elementos de construcción. En segundo lugar, la estación de recogida proporciona los operadores con un retroalimentación del sistema a través de una serie de LEDs. Para permitir el funcionamiento simultáneo de dos quadcopters, se utilizaron dos estaciones de recogida durante el montaje de la torre.

Para iniciar un ciclo en el proceso de construcción, el operador inserta manualmente un elemento de construcción en la estación de recogida. Si el elemento de construcción se coloca plana y correctamente alineado dentro de la estación de recogida, su inserción se detecta como exitoso, y se notifica al usuario mediante un LED de color.



**Figura 31.** Un Quadrocopter recogiendo un modulo de construcción en la estación de recogida.

## Realización

La inserción exitosa de un elemento de construcción en la estación de captación activa el proceso de construcción. En primer lugar, el capataz es notificado de que un elemento de construcción se ha insertado con éxito en la estación de recogida. Entonces dibuja una instrucción de la colocación del modelo y lo entrega al subsistema de tripulación. Entonces el subsistema centralizado de tripulación emite esta instrucción a un helicóptero quadcopter inactivo con carga suficiente, dando preferencia a los vehículos que ya están en vuelo. El quadcopter seleccionado recoge el elemento de construcción de la estación de recogida y lo coloca en la ubicación y la orientación deseada dentro de la torre. Una vez que el quadcopter ha colocado el elemento, es libre de asignar nuevas tareas.

## Conclusión

La instalación *Flight Assembled Architecture* y el sistema de construcción aéreo presentado en este artículo deben ser vistos como una prueba de concepto, lo que demuestra la capacidad de los vehículos aéreos para construir estructuras. El proyecto, sin embargo, no es un proyecto a escala construcción real, es decir, los métodos no pueden ser aplicados uno a uno para edificios de tamaño real. Para que la construcción aérea tenga éxito en los escenarios del mundo real, los investigadores deben explorar estrategias que combinen las capacidades de las máquinas de vuelo para llegar casi a cualquier punto y mover elementos de construcción a otros lugares no accesibles. Los investigadores también deben desarrollar nuevos sistemas de materiales y procesos constructivos novedosos que respondan a las restricciones impuestas por estas máquinas, como la carga útil y la precisión.

El uso de drones para ayuda en la construcción y para la creación de modelos 3D va a ser elemental en un futuro. La instalación demuestra la habilidad y la autonomía que tienen los drones de poder levantar esta torre de 6m de altura. Hoy en día, los drones ofrecen un excelente compromiso entre la capacidad de carga útil, agilidad y robustez.

### 7.3 Construcción Aérea

En la fabricación de arquitectura, máquinas voladoras se aplican en los sitios de construcción desde la década de 1950. Los helicópteros en la construcción son utilizados para levantar materiales de construcción y para transportarlos a lugares remotos sin acceso a la calle. En la construcción dichas grúas aéreas llevan, por ejemplo, los postes de electricidad a los lugares designados donde son montados por los trabajadores en el terreno. Otro método de construcción con vehículos aéreos es el uso de globos aéreos, utilizando la tecnología más ligera que el aire para generar ascenso.

Un nuevo campo en la fabricación digital está emergiendo. Los acontecimientos recientes en la detección, cómputo y control permiten crear máquinas voladoras autónomas que son capaces de realizar tareas complicadas de construcción en entornos no estructurados. Esta investigación estudia el diseño y la relación del material de la arquitectura y la construcción robótica aérea.

Tradicionalmente, las máquinas que ayudan en la construcción en arquitectura o la fabricación de componentes de construcción son máquinas estacionarias. Los drones por el contrario, se desacoplan físicamente de su espacio de trabajo. Los drones pueden moverse dentro y alrededor de los objetos existentes y realizar tareas de construcción que no están limitados por las mismas restricciones que las máquinas basadas en tierra.

Como resultado, su uso abre nuevas preguntas en la materialización de la arquitectura. Como tal, la investigación requiere del desarrollo de sistemas de materiales ligeros, los procesos de diseño y construcción digitales, y las estrategias de adaptación para el control de los robots aéreos o drones, ya que interactúan con el material y cooperan en tareas de montaje.

Los robots aéreos, similares a los robots industriales, son genéricos y pueden ser equipados con diferentes herramientas para el transporte y manipulación de materiales en diferentes maneras, pero la clave es el peso. La capacidad de carga útil de los drones o UAVS son limitadas y su capacidad de maniobrabilidad es muy influenciada por la carga también. Esto requiere que tanto la herramienta o dispositivo de agarre unido a la máquina como el material de construcción sean muy ligeros, y que el sistema de construcción sea bastante eficiente.



**Figura 32.** Helicóptero levantando una cúpula en Raleigh, Carolina del Norte, EE.UU. (1954).

La relación entre el peso de la carga y la fuerza del drone es un factor influyente en el diseño de la arquitectura aérea, pero también motiva a la investigación en sistemas de construcción ligeros, tales como estructuras espaciales ligeras.

### 7.3.1 BUILDING WITH FLYING MACHINES

*Gramazio & Kohler Research 2013*

En este segundo artículo, el arquitecto Ammar Mirjan muestra como los drones con dispensadores de cables adjuntos pueden ser utilizados para construir rápidamente estructuras arquitectónicas ligeras. Los drones pueden ser una nueva herramienta valiosa en la construcción.

El proyecto aborda explícitamente la posibilidad de construir estructuras portantes espaciales que no son posibles con sistemas robóticos estándar.

El uso de aviones no tripulados para construir estructuras tensadas da la continuación de un proyecto anterior por Gramazio Kohler Arquitectos y Raffaello D'Andrea, en la que los UAV se utilizaron para construir una torre de 1.500 ladrillos de poliestireno en el Centro de FRAC en Orléans, Francia.

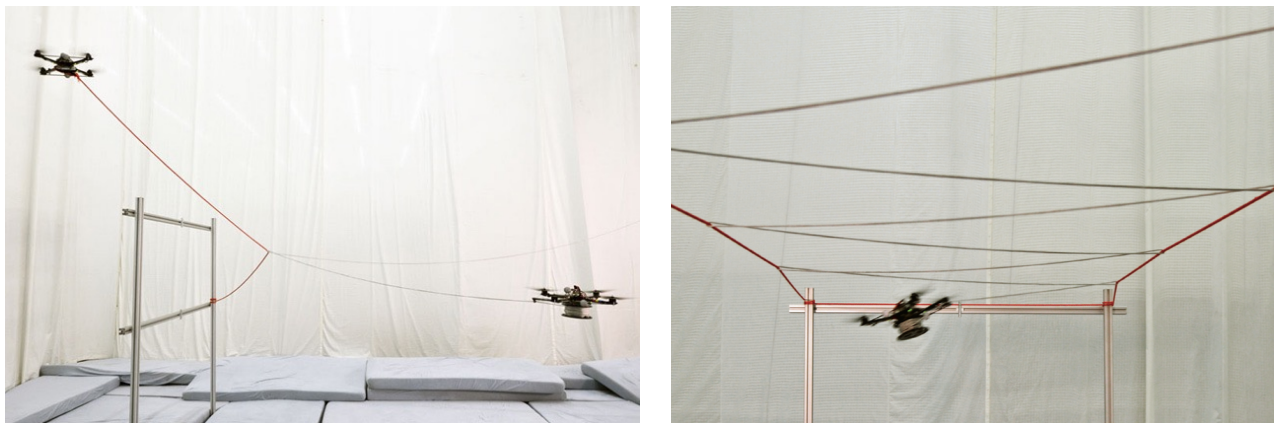


**Figura 33.** Ensamblaje de la estructura superficial por la que vuelan los drones alrededor de miembros ya construidos .

*“Podemos volar a través y alrededor de los objetos existentes, algo que una persona ni una grúa podría hacer”  
Ammar Mirjan*

Junto con el grupo de investigación en robótica Raffaello D'Andrea en el Instituto de ETH Zürich para los Sistemas Dinámicos y de Control, Gramazio Kohler Research está investigando cómo los vehículos aéreos no tripulados (UAV) se pueden programar para "tejer" estructuras simples en el aire.





**Figura 34.** Dos quadcopters cooperando en orden para colocar exactamente el nodo en el espacio tridimensional.

*"En realidad estamos adjuntamos dispensadores de cable en las máquinas y tejiendo estructuras en el espacio", explican. "En tan sólo unos minutos se puede tejer una estructura y conectarlo a los elementos existentes".*  
*Ammar Mirjan*

Los experimentos han sido hasta ahora limitados a un entorno de laboratorio. Sin embargo, se cree que pronto será posible iniciar la construcción de estructuras con vehículos aéreos no tripulados (UAV) en el espacio público. Como por ejemplo, la construcción de una estructura temporal sobre un cañón o un río.

## Potencial de Diseño

La construcción aérea con drones ofrece un nuevo enfoque a la arquitectura. La investigación que se presenta investiga el potencial del diseño y la relación material entre la arquitectura y la construcción utilizando máquinas voladoras. El trabajo identifica el potencial a escala, la autonomía territorial y cooperativismo como principales características de la utilización de drones en la producción arquitectónica.

Una serie de estructuras de prototipos se han construido para investigar diferentes técnicas de construcción para la construcción robótica aérea. La investigación propone los siguientes tres capacidades clave de robots que vuelan en la producción arquitectónica:

## Potencial a Escala

El rango de funcionamiento de un robot volador no está limitado por el tamaño de la máquina. No hay conexión mecánica a una base. Brazos robóticos convencionales y máquinas CNC, por contraste, han limitado las áreas de trabajo, lo que limita su uso en la arquitectura a los pequeños artefactos o elementos de construcción. El rango de trabajo de los robots de vuelo, sin embargo, les permite llegar a puntos en el espacio de otro

modo inaccesibles por las máquinas de construcción controlados por ordenador, lo que los hace capaces de funcionar a la escala completa de la arquitectura.



**Figura 35.** Estructura Lineal. El drone sujeta el cable en la estructura existente para atravesar la conexión.

La figura 35. muestra la construcción de una estructura de suspensión lineal que abarca un enlace horizontal entre dos puntos de apoyo en el aire independientemente de las condiciones en el terreno. Las características del material del elemento de tracción se utilizan como un método conectivo enrollando alrededor de los elementos estructurales existentes.

### **Autonomía Espacial**

La máquina voladora se desacopla físicamente de su espacio de trabajo. Los drones cargados con material se mueven independientemente a la estructura que están construyendo hasta que interactuar físicamente con la ubicación deseada. Esta libertad de movimiento diferencia a los robots aéreos de todas las otras máquinas de construcción. Este atributo distintivo permite la materialización de estructuras que no se podía construir con otros métodos de fabricación.

### **Cooperación**

Los robots convencionales tienen la capacidad de cooperar. La capacidad de las máquinas para interactuar entre si les permite hacer estructuras que no pudieron ser secuenciadas y construidas por un robot individual. En comparación con los drones, los robots industriales fijos, al trabajar cooperativamente, bloquean el radio de acción de cada uno y, por tanto, se utilizan principalmente para tareas repetitivas en las líneas de montaje. Los drones o robots voladores no están limitados a tales límites estrechos, lo que hace que sean adecuadas para las tareas de cooperación.



El control digital de los robots permite a los vehículos comunicar y sincronizar sus acciones entre sí, por ejemplo, a colaborar para levantar cargas particularmente pesadas. En tal caso, los vehículos no se limitan a distribuir la carga de trabajo, pero realizan tareas de construcción que máquina individual no podría lograr sola, independientemente de la capacidad de carga útil.



**Figura 36.** Cooperación de drones para crear una estructura tensada

La figura 36 muestra la cooperación de dos vehículos aéreos no tripulados en el establecimiento de un nodo de tracción a una posición definida en el espacio de diseño tridimensional. Esta maniobra no podría conseguirse por un solo vehículo y demuestra el potencial de fabricación con múltiples robots interactuar vuelan

### 7.3.2 Conclusión

La construcción robótica aérea es una nueva línea de investigación. Los drones son una herramienta interesante en la exploración del diseño. No veo a los drones necesariamente como algo que compite con los métodos existentes, sino la ampliación de lo que es posible hacer con su ayuda. La primera serie de exploraciones documentadas aquí han mostrado algunas de las particularidades de los robots aéreos en construcción. Persigue un cambio en el diseño abriendo nuevas formas de pensar sobre el diseño arquitectónico y materialización.

Mientras que con el uso los drones es poco probable reemplazar todas las técnicas tradicionales en construcción, sus capacidades únicas conducirán a que sean utilizados para aplicaciones específicas en la construcción.

## 8. Recomendaciones

Una vez conociendo los beneficios que nos brinda el empleo de los drones o RPAS en arquitectura, podemos seguir con lo que serian las recomendaciones mas destacables que se podrían llevar de este TFM, todos los arquitectos que están interesados en hacer uso de drones durante el desarrollo de sus proyectos.

En este apartado se darán algunas recomendaciones del empleo de los drones en la arquitectura, que contestaran algunas de las preguntas mas frecuentes que se haría una persona antes de hacer uso de un drone, o antes de alquilar sus servicios en algún proyecto. Algunas de las preguntas a contestar serian: ¿Que tipo de drone utilizar?, ¿Cual es su autonomía?, ¿Cuales son sus limitaciones?, ¿Para que lo voy a utilizar? y algunas otras dudas.

¿Que drone utilizar?

Dos grandes tipos de drones: ligeros y pesados.

**1** Tienes que definir que uso le vas a dar, recreacional o profesional. Ya que un drone ligero tiene un coste aproximado de 1, 000 € y un drone profesional tiene un coste aproximado de 30, 000 €.

**2** Antes de utilizar un drone, siempre tomar en cuenta las limitantes de carga que tiene, esto implica el peso de la cámara y los soportes adecuados que se podrán adherir al drone. Un drone ligero puede soportar solo 300 gr. de carga, cuando un drone profesional puede levantar hasta 10 kg aproximadamente.

**3** La autonomía de un drone es lo mas importante, ya que estas maquinas llevan unas baterías de poca vida, los drones ligeros ofrecen una autonomía solo de 10 a 15 minutos, tiempo suficiente para un vuelo de documentación aérea de un proyecto pequeño. Cuando un drone profesional ofrece una autonomía de 1 hora aproximadamente.

Ligero: autonomía de 10 a 15 min, carga 300 gr, peso menos de 2 kilos.

Pesado: autonomía de 30 a 45 min, carga de 10 kg, peso de 2 hasta 25 kilos.

¿Para que lo voy a utilizar?

**4** Si quieres utilizar un drone solo para hacer fotos de algún proyecto o una pequeña documentación de fotos aérea, no es necesario el uso un drone profesional, con un drone ligero que soporte una carga de una cámara de alta definición es suficiente.

**5** Si lo vas a utilizar para algo mas complejo, como por ejemplo: levantamientos de modelos 3D, Ortofoto, Nube de Puntos, etc, es necesario utilizar un drone profesional, ya que estos son capaces de soportar todos los aditamentos necesarios para su empleo, como lo son el soporte y la cámara. Tienen una autonomía de 30 a 45 minutos y una capacidad de carga máxima de 10 kg aproximadamente.

**6** No es necesario adquirir un drone profesional, una buena opción es alquilarlo, ya que el arquitecto no es funcional el saber operar un drone ni aprender a usar un drone profesional.

Al hacer uso de un drone Profesional...

**7** Tener en cuenta que el manejo de un drone profesional se requiere de dos personas al mismo tiempo manipulando el drone, uno el que pilotea el drone y el otro es el que maneja la cámara de alta definición.

**8** Tiene una precisión muy exacta, ya que la resolución que te permite ver hasta 1,5 cm del suelo, se pueden ver hasta las juntas de las carreteras, para el proceso de diseño es muy útil y ahorra muchísimo tiempo y trabajo.

**9** Para el 2016 se podrán volar los drones o RPAS de menos de 25 kg dentro de la ciudad con ciertos permisos, reglamentos y con las licencias respectivas para los pilotos de RPAS.

## 9. Conclusiones

En este TFM en general, podemos darnos cuenta que existen infinitas aplicaciones para los drones o RPAS en el mundo de la arquitectura, ingeniería y construcción. En algunas de las aplicaciones podemos decir que hoy en día el uso de drones en estas es elemental. Observamos como la tecnología va avanzando en rapidez, y que tienen un muy seguro campo de trabajo dentro de la construcción en un futuro muy cercano.

A mi parecer los drones son desde ahora una herramienta importante para el proceso creativo y para el proceso de construcción. Podemos observar que ya están implementando en el proceso constructivo como en el desarrollo de las oficinas de la empresa Apple, o como la construcción de la Expo de Milan 2015, presentada en el apartado de análisis de proceso constructivo, grandes e importantes empresas también están haciendo usos de los drones para sus proyectos.

Algunas de las cosas mas importantes que se podría llevar de es TFM son las características de los drones, su capacidad de trabajo, su autonomía, capacidad de carga, el peso y el costo aproximado de los diferentes tipos de drones comerciales. Un drone ligero tiene una autonomía de 10 a 15 minutos, haciendo posible realizar un vuelo para una documentación área de algún proyecto en 3 o 4 voladas, dependiendo lo que se quiera documentar, y pueden acarrear un peso máximo de 300 gr. aproximadamente. En cambio un drone profesional, pesa alrededor de 20 kg, tiene una autonomía de 30 a 45 minutos, algunos pueden alcanzar de 30 a 45 minutos de vuelo, pesando alrededor de 8kg.

Otra de las cosas mas importantes que deja este TFM es que nos da idea de poder encontrar nuevas aplicaciones de los drones en el ámbito de construcción, nos incita a innovar en la interacción de los drones en el mundo de la arquitectura, nos pone a pensar en las diferentes aplicaciones que los drones pueden ser usados en un futuro cercano.

Quisiera mencionar al final del tema algunas de las ventajas y desventajas que a mi parecer tienen los drones hoy en día

### 9.1 Ventajas

- **Reducción de costes:** una de las principales ventajas de los drones con respecto al uso tradicional de avionetas pilotadas para la fotografía aérea, reside fundamentalmente en la significativa reducción de costos a la hora de realizar un trabajo idéntico. El uso de drones evita los gastos de tasas de aeropuerto, combustible y pilotos. toda reducción repercute directamente en el precio final del servicio, quedando al alcance de particulares y civiles.
- **Reducción de riesgos laborales:** Al tratarse de drones, pueden adentrarse sin problema en áreas contaminadas, evitando el acceso de personas a zonas que

pongan el riesgo su salud.

- Zonas de difícil acceso: gracias a las dimensiones y la manejabilidad de los drones, pueden adentrarse con mucha mayor facilidad en zonas en las que una aeronave tripulada no podría. Un drone puede llegar a acceder a lugares como túneles o chimeneas, o hasta a espacios interiores.
- Vuelo estacionario estabilizado: otra ventaja de los drones con respecto a su uso es su facilidad para realizar un vuelo estacionario estabilizado a baja cota, es decir, que se mantenga estático en un punto concreto. Esta ventajas permite tomar fotos y videos aéreos de gran calidad.

## 9.2 Desventajas

- Influencia en su funcionamiento por fenómenos físicos como la actividad solar, lluvias, vientos fuertes, etc...
- La fragilidad y el poco peso de los mismos no permiten transportar objetos que no sean livianos.

Capacidad de vuelo limitado por la autonomía y su fuente de energía.

- Pueden ser utilizados para fines no deseados, como contrabando de objetos o métodos espías, aspectos que deben ser regulados.

Como podemos ver son mas las ventajas las que brinda el uso de un drone, que las posibles desventajas que tiene, estas en un futuro se regularan y otras alcorzan mas maduras tecnológica para poder tener mayores alcanzas tanto de carga como de autonomía.

## 10. Referencias

### 10.1 Referencias Cientificas

1. [Eyes of the Army U.S. Army Roadmap for UAS 2010-2035](#)  
Unmanned Systems Integrated Roadmap, Office of Secretary of Defense, 6 April 2009
2. [Unmanned Aircraft Systems. UAVS Design, Development And Deployment](#)  
John Wiley & Sons Ltd. Chichester (Reino Unido), AUSTIN, R (2010)
3. [Unmanned Aircraft Systems \(UAS\).](#)  
International Civil Aviation Organization (2011). Circular 328, An/190.
4. [Aerial Robotic Construction Towards a New Field of Architectural Research](#)  
Willmann Jan, Augugliaro Federico, Cadalbert Thomas, D'Andrea Raffaello, Gramazio Fabio, Kohler Matthias (2012), Aerial Robotic Construction Towards a New Field of Architectural Research, in International journal of architectural computing, 10(3), 439-460.
5. [Thee Flight Assembled Architecture Installation: Cooperative construction with flying machines](#)  
Augugliaro Federico, Lupashin Sergei, Hamer Michael, Willmann Jan S, Gramazio Fabio, Kohler Matthias, D'Andrea Raffaello (2014), The Flight Assembled Architecture Installation: Cooperative construction with flying machines, in Control Systems, IEEE Xplore Magazine, 34(4), 46-64.
6. [Building with Flying Robots](#)  
Mirjan, Ammar, Fabio Gramazio, Matthias Kohler. "Building with Flying Robots." In FABRICATE: Negotiating Design and Making, edited by Gramazio, Fabio, Matthias Kohler, Silke Langenberg, 266-71. Zürich: gta Verlag, (2014).
7. [Building Tensile Structures with Flying Machines](#)  
Augugliaro, Federico, Ammar Mirjan, Fabio Gramazio, Matthias Kohler, and Raffaello D'Andrea. "Building Tensile Structures with Flying Machines.
8. [Los Drones y sus Aplicaciones en la Ingeniería Civil](#)  
Madrid, España (2013): Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid: Los Drones y sus aplicaciones en la Ingeniería Civil.

## 10.2 Referencias Comerciales

1. Geoinformáticos  
[www.geoinformaticos.com](http://www.geoinformaticos.com)
2. Air Architectual Solutions  
[www.air-architectual.com](http://www.air-architectual.com)
3. AirDrone 3D  
[www.airdrone3d.es](http://www.airdrone3d.es)
4. Asociación Española de RPAS (2015)  
[www.aerpas.es/rpas/](http://www.aerpas.es/rpas/)